

Aus der Kinderchirurgischen Klinik und Poliklinik im  
Dr. von Haunerschen Kinderspital  
der Ludwig-Maximilians-Universität München  
Direktor: Prof. Dr. med. D. von Schweinitz

**Evaluation der MRT-Diagnostik nach Sprunggelenksdistorsionen bei  
Kindern und Jugendlichen:  
Sinnvolles Instrument zur Diagnostik relevanter Verletzungen im oberen  
Sprunggelenk?**

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von  
Manuel Unterthiner

aus  
Rosenheim  
2018

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: PD Dr. Jochen Hubertus

Mitberichterstatter: Prof. Dr. Marcus Schmitt-Sody

Dekan: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel

Tag der mündlichen Prüfung: 07.06.2018

*Meinen Eltern*

# Inhaltsverzeichnis

I. Einleitung.....	6
I.1 Allgemeine Anatomie des Sprunggelenkes.....	8
I.1.1 Das obere Sprunggelenk (Articulatio talocruralis).....	8
I.2 Mechanismus der Sprunggelenksdistorsion.....	14
I.3 Kinderspezifische Verletzungsformen.....	14
I.3.1 Anatomie der Epiphysenfuge.....	15
I.3.2 Epiphysenfugenfrakturen.....	16
I.3.3 Therapie von Wachstumsfugenfrakturen.....	18
I.3.4 Komplikationen nach Epiphysenfugenfrakturen.....	19
I.3.5 Prognostische Faktoren.....	20
I.4 Nicht kinderspezifische Verletzungen.....	21
I.4.1 Bandverletzungen.....	21
I.4.2 Bone bruise.....	22
I.4.3 Osteochondrale Läsionen (OCL).....	25
I.4.4 Frakturen.....	27
I.4.5 Posttraumatische Arthrose.....	28
I.5 Diagnostik bei Sprunggelenksverletzungen.....	28
I.5.1 Klinische Untersuchung.....	28
I.5.2 Röntgen.....	30
I.5.3 Schnittbildverfahren.....	30
II. Patienten und Methoden.....	32
II.1 Art der Studie.....	32
II.2 Einschlusskriterien.....	32
II.3 Ausschlusskriterien.....	33
II.4 Patienten.....	33
II.5 Diagnostik.....	34
II.5.1 Körperliche Untersuchung.....	34
II.5.2 Röntgen.....	35
II.5.3 Magnetresonanztomographie.....	35
II.6 Definition relevanter Pathologien.....	37
II.7 Standardbehandlungsprotokoll bei Erstvorstellung.....	37
II.8 Behandlungsprotokoll der MRT-Befunde.....	38
II.9 Änderung des Therapieregimes durch die MRT.....	39
II.10 Datenerfassung.....	39
II.11 Statistische Methoden.....	40
III. Ergebnisse.....	41
III.1 Patienten.....	41

III.2 Unfallort.....	42
III.3 Unfallursachen.....	43
III.3.1 Einfluss des Übergewichtes.....	43
III.4 Ruhigstellungsdauer.....	44
III.5 Ottawa Ankle Rules.....	44
III.6 Standardröntgenbefunde.....	45
III.7 MRT - Befunde.....	45
III.7.1 Bandläsionen.....	45
III.7.2 Gelenkerguss.....	46
III.7.3 Bone bruise.....	47
III.7.4 Osteochondrale Läsionen.....	48
III.7.5 Frakturen.....	50
III.7.6 Vergleich OAR, Röntgen und MRT.....	50
III.8 Therapeutische Relevanz der MRT-Befunde.....	52
III.9 Nachuntersuchung.....	57
III.10 Modifiziertes Behandlungsprotokoll bei OSG-Distorsion.....	61
IV. Diskussion.....	62
IV.1 Zusammenfassung der Hauptergebnisse.....	62
IV.2 Diskussion der Methoden.....	63
IV.2.1 Definition relevanter Pathologien.....	63
IV.2.2 Klinische Untersuchung.....	64
IV.2.3 Behandlungsprotokoll.....	65
IV.3 Diskussion der Ergebnisse.....	66
IV.3.1 Festgestellte Verletzungen.....	66
IV.3.2 Ottawa Ankle Rules.....	71
IV.3.3 Bildgebende Diagnostik.....	72
IV.3.4 Vergleich Röntgen - MRT.....	75
IV.3.5 Nachuntersuchung.....	76
IV.3.6 Ausblick.....	78
V. Zusammenfassung.....	80
VI. Literaturverzeichnis.....	81
VII. Anhang.....	92
VIII. Danksagung.....	98

# I. Einleitung

Verletzungen des Sprunggelenks sind sowohl bei Erwachsenen als auch bei Kindern und Jugendlichen sehr häufig und machen ca. 5% der Konsultationen in einer (kinder-)chirurgischen Notaufnahme aus <sup>1-3</sup>.

Meist handelt es sich dabei um Inversionstraumata. Eversions- oder axiale Traumata sind deutlich seltener <sup>4,5</sup>. Die Hauptunfallursachen bilden bei Kindern und Jugendlichen die Schul- und Freizeitsportarten. Vor allem Ballsportarten und Skateboardfahren, aber auch der schulische Sportunterricht sind hierbei von Bedeutung <sup>6-9</sup>.

Bei vielen Sprunggelenksverletzungen kommt es zu ligamentären Verletzungen, hauptsächlich ist dabei das Ligamentum fibulotalare anterius betroffen <sup>10,11</sup>.

Obwohl die Inzidenz relevanter Sprunggelenksfrakturen mit unter 15% vergleichsweise gering ist <sup>12</sup>, umfasst die Standarddiagnostik neben der körperlichen Untersuchung meist auch Röntgenaufnahmen des Sprunggelenkes. Um die Zahl unnötiger Röntgenaufnahmen zu reduzieren, entwickelten Stiell et al. im Jahre 1992 klinische Entscheidungshilfen, die Ottawa Ankle Rules (OAR), welche relevante Sprunggelenksfrakturen bei Erwachsenen mit hoher Wahrscheinlichkeit identifizieren können. So sollte bei Erwachsenen ein Standardröntgen in 2 Ebenen nur dann erfolgen, wenn die OAR positiv sind. Aber auch wenn die OAR mittlerweile eine breite Anwendung finden haben Studien ergeben, dass trotzdem noch bei nahezu jeder Sprunggelenksdistorsion eine Röntgenaufnahme in zwei Ebenen angefertigt wird, auch wenn nach den OAR kein Frakturverdacht besteht <sup>12-14</sup>.

Bei Kindern und Jugendlichen kommt noch hinzu, dass die Aussagekraft des konventionellen Röntgens aufgrund der knorpeligen und damit nicht adäquat beurteilbaren Epiphysenfugen eingeschränkt sein kann <sup>15</sup>. Unentdeckte Epiphysenfugenfrakturen und andere Pathologien wie osteochondrale Läsionen (OCL) oder Syndesmosenverletzungen können Ursache prolongierter Beschwerden bis hin zu irreversiblen Funktionseinschränkungen des Gelenkes sein. Keine dieser Pathologien sind im konventionellen Röntgen zuverlässig darstellbar <sup>7,16-21</sup>. Diese Patienten, die trotz Frakturausschluss im Standardröntgen weiterhin über Beschwerden klagen, werfen die Frage auf, ob in diesen speziellen Fällen eine weitere Diagnostik notwendig ist.

Die Computertomographie (CT) ist eine schnell durchführbare und im Vergleich zur MRT verhältnismäßig kostengünstige Untersuchung. Durch sie können im Standardröntgen nicht sichtbare Frakturen sowie osteochondrale Läsionen zuverlässig diagnostiziert

werden <sup>15</sup>. Zur Diagnostik von Weichteilverletzungen (z. B. ligamentären Verletzungen) oder Knochenmarksödemen ist sie jedoch nicht geeignet <sup>22-24</sup>. Zudem führt die CT zu einer deutlich höheren Strahlenbelastung für den Patienten als das Standardröntgen <sup>25,26</sup>.

Die Sprunggelenksarthroskopie bietet den Vorteil der direkten Begutachtung intraartikulärer Strukturen und der Möglichkeit der chirurgischen Intervention <sup>11,27</sup>. Dies macht sie vor allem bei Verletzungen der Gelenkflächen interessant <sup>28</sup>. Als invasive Diagnostik steht sie jedoch häufig am Ende der diagnostischen Kette wenn schon Befunde aus der CT oder MRT vorliegen.

Die MRT ermöglicht als nicht invasive Diagnostik sowohl die Darstellung ligamentärer, chondraler sowie bedingt auch ossärer Strukturen <sup>26,27</sup>. Zudem ist sie das einzige Instrument, das den häufig nach traumatischen Ereignissen auftretenden, wenn auch umstrittenen, Bone bruise diagnostizieren kann. Die fehlende Strahlenbelastung macht die MRT vor allem für die Diagnostik kindlicher Verletzungen interessant <sup>25,27</sup>. Demgegenüber stehen hohe Untersuchungskosten und eine eingeschränkte Verfügbarkeit mit teils langen Wartezeiten. Zudem ist sie aufgrund der langen Akquisitionszeiten bei kleinen Kindern nur in Narkose durchführbar <sup>29</sup>.

Ziel dieser Studie war die Evaluation des Einsatzes der MRT nach kindlicher Sprunggelenksdistorsion bei initial unauffälligem Röntgenbefund und Beschwerdepersistenz über eine Woche trotz Immobilisierung. Es sollte gezeigt werden, ob im Standardröntgen relevante Pathologien, insbesondere solche, die einen Wechsel des therapeutischen Regimes nach sich ziehen, dem Nachweis im Röntgen entgehen. Zudem sollte durch ein standardisiertes klinisches Follow-up zusätzlich geklärt werden, ob die Patienten nach abgeschlossener Therapie noch Beschwerden hatten. Falls ja, so sollten durch die MRT-Befunde Rückschlüsse auf die mögliche zugrundeliegende Pathologie getroffen werden.

## I.1 Allgemeine Anatomie des Sprunggelenkes

Das Sprunggelenk wird in das obere (OSG) und untere Sprunggelenk (USG) unterteilt. Sie stellen aufgrund der Anordnung ihres Bandapparates und der integrierend über beide Gelenke hinwegziehenden 9 – 10 Muskelsehnen eine funktionelle Einheit dar, deren Bewegungsumfang am ehesten mit einem Kardangelenk verglichen werden kann <sup>30</sup>. Da in dieser Arbeit Verletzungen des OSG betrachtet werden, soll auf das USG im Folgenden nicht weiter eingegangen werden.

### I.1.1 Das obere Sprunggelenk (Articulatio talocruralis)

#### I.1.1.1 Gelenkkörper

Das OSG hat auf den ersten Blick die Form eines Scharniergelenks. Dabei artikuliert die Gelenkfläche des Talus (Trochlea tali) mit der konkaven Gelenkfläche der Malleolengabel, welche hauptsächlich von der distalen Tibia gebildet wird <sup>30</sup>.

Von der Seite gesehen zeigt sich die Gelenkfläche des Talus geometrisch als Zylindermantelausschnitt mit einem Durchmesser von ca. 2 cm und einer Bogenlänge von ca. 120° <sup>31</sup>. In der dreidimensionalen Betrachtung stellt die Trochlea tali am ehesten den Ausschnitt eines Kegelmantels mit nach medial zeigender Spitze dar. Allerdings entspricht nur die mediale Talusfacette einer Kegelfläche, wohingegen die laterale einer Ellipse ähnelt <sup>32</sup>. Insgesamt besteht die proximale Gelenkfläche des Talus aus der dem Tibiaplafond gegenüberliegenden Facies superior sowie den beiden, den Malleoli korrespondierenden seitlichen Facies malleolares. Der Talus bietet gegenüber anderen Knochen zwei Besonderheiten: Zum einen besteht seine Oberfläche zu  $\frac{2}{3}$  aus Knorpel und zum anderen setzt kein Muskel an ihm an.

Die Talusrolle ist ventral 4 - 5 mm breiter als dorsal wodurch das Talocruralgelenk in Plantarflexion mehr Freiraum besitzt als in Dorsalextension.

Der proximale Teil des Talocruralgelenks wird aus der von den distalen Enden der Tibia und Fibula aufgebauten Malleolengabel gebildet.

Die kräftige distale Tibia bildet mit Ihrer Facies articularis inferior das um 15 - 20° gegenüber der Horizontalen nach dorsal geneigte „Dach“ (plafond) des oberen



Sprunggelenks. Die durchschnittliche Größe dieser konkaven Gelenkfläche beträgt 703 mm<sup>2</sup>. Sie ist kleiner als die der korrespondierenden konvexen Gelenkfläche der Trochlea tali, deren Gesamtfläche etwa 1150 mm<sup>2</sup> beträgt. Dabei scheint eine physiologische Inkongruenz zwischen diesen beiden Gelenkflächen zu bestehen, welche eine bessere Druckverteilung sowie Durchwalkung des Gelenkknorpels bewirkt. Die Facies articularis inferior hat eine im Vergleich zur Trochlea tali deutlich geringere Bogenlänge von nur ca. 80° <sup>31</sup>.

Der Innenknöchel (Malleolus medialis) ist ein wichtiger Stabilisator des OSG <sup>17,32</sup>. Seine sagittal ausgerichtete Facies articularis malleoli tibiae geht von der Facies articularis inferior im Winkel von ca. 110° nach unten ab und begrenzt somit das mediale Gelenkkompartiment <sup>30,32</sup>. Die Durchschnittsfläche der Facies articularis malleoli tibiae beträgt 172 mm<sup>2</sup> <sup>30</sup>. Für die von posterior kommenden Sehnen der Mm. tibialis posterior und flexor digitorum longus bildet der Innenknöchel eine Grube. Zudem ist er Ursprung des medialen Seitenbandes (Lig. Deltoideum).

Die Fibula bildet den im Vergleich zum Malleolus medialis um ca. 1 cm weiter nach distal reichenden Außenknöchel (Malleolus lateralis) <sup>30,32</sup>. An seiner Rückfläche befindet sich eine Rinne, welche als Führung für hier verlaufenden Peronealsehnen dient. Die Innenseite des Malleolus lateralis bildet die durchschnittlich 286 mm<sup>2</sup> große Facies articularis lateralis. Er ist außerdem Ursprung für die lateralen Seitenbänder.

Die Tibia bildet mit ihrer Incisura fibularis eine Rinne, in welche sich die distale Fibula exakt einpasst. Auf dieser Höhe befindet sich auch die für die Stabilität der Malleolengabel essentielle Syndesmosis tibiofibularis.

#### I.1.1.2 Gelenkknorpel

Die Knorpel von distaler Tibia und Fibula und des Talus sind nicht einheitlich ausgebildet sondern weisen ein bestimmtes Dickenverteilungsmuster auf (Abb. 1). Am anatomischen Präparat finden sich an der Tibia die dicksten Knorpelstellen in der Facies articularis inferior im Übergangsbereich zur Facies malleolaris medialis und im vorderen lateralen Anteil. An der Fibula hat die Knorpeldicke ihr Maximum im distalen Bereich der lateralen Gelenkfläche. Der Talus weist die größten Knorpeldicken (bis zu 3 mm) entlang der medialen Rollkante auf. Ein weiteres Maximum bildet das Zentrum der lateralen

Seitenfläche<sup>30</sup>.

Die Dicke des Gelenkknorpels kann auch mit Hilfe der MRT auch in vivo gemessen werden. Bei der Beurteilung der Knorpel in der MRT ist zu berücksichtigen, dass die Knorpeldicke in der T1 gewichteten Spin-Echo-Sequenz im Mittel um 46,8 % unterschätzt wird<sup>33</sup>.

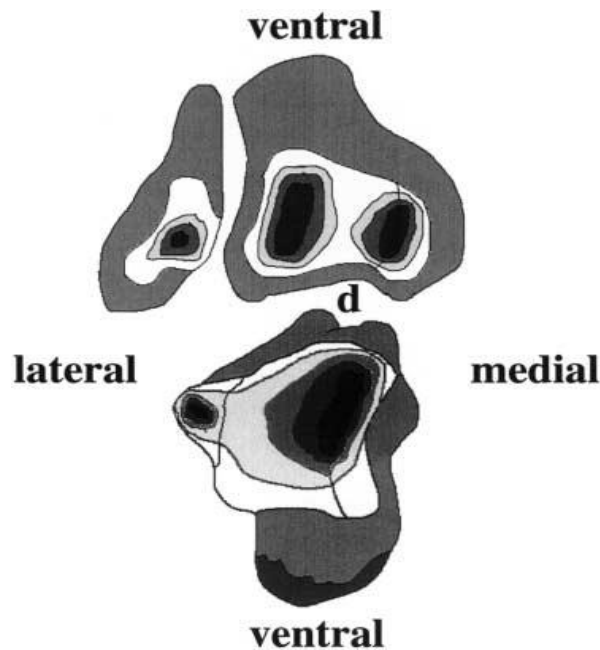


Abbildung 1: Dickenverteilungsmuster des Knorpels am OSG (Schwarz = hohe Knorpeldicke; aus Müller-Gerbl 2001)

#### I.1.1.3 Bandapparat

Das OSG bildet einen medialen und lateralen Bandapparat aus.

Der mediale Bandapparat besteht aus dem Malleolus medialis entspringenden Lig. deltoideum. Dieses besteht aus zwei Anteilen, einem oberflächlichen und einem tiefen. Die genaue Aufteilung des Lig. deltoideum wird aber je nach Autor verschieden dargestellt<sup>17,30-32</sup>. Nach Pretterklieber besteht oberflächliche Anteil aus den drei Portionen der Pars tibionavicularis, tibioalcannea und tibiotalaris posterior. Den tiefer gelegenen Anteil würde demnach die Pars tibiotalaris posterior bilden. Bei Rammelt<sup>32</sup> und Hawe<sup>17</sup> besteht die tiefe Portion des Lig. deltoideum aus den Partes tibiotalares anterior und posterior und wird kräftiger als die oberflächliche angegeben. Die Pars tibiotalaris anterior wird in zunehmender Plantarflexion gespannt was letzten Endes zu einer Bremsung dieser Bewegung führt. In Dorsalextension spannt sich die Pars tibiotalaris posterior<sup>30</sup>.

Der fibuläre Bandapparat besteht aus drei isoliert verlaufenden Bändern (Abb. 2). Das Lig. fibulotalare anterius (LFTA) zieht von der Vorderkante der Fibula zum proximalen Teil des Talus. Es verläuft beinahe horizontal, hat eine durchschnittliche Länge von ca. 2 cm und ist als das schwächste der drei Bänder zu sehen. Das LFTA spannt sich bei Plantarflexion an und bremst diese somit <sup>17,34</sup>. Eine Ruptur dieses Bandes kann eine deutliche vordere Schublade sowie laterale Aufklappbarkeit zur Folge haben. Das LFTA ist das am häufigsten verletzte Band überhaupt – insbesondere bei Sportverletzungen.

Das Ligamentum fibulocalcaneare (LFC) entspringt am Unterrand der Spitze des Malleolus lateralis und zieht in einem Winkel zwischen 45° und 80° zur Plantarebene nach dorsal Richtung Außenfläche des Calcaneus <sup>17,30</sup>. Das Dehnungsverhalten des LFC zeigt im Gegensatz zum LFTA nur eine geringe Abhängigkeit von der Gelenkstellung, wobei eine Spannungszunahme in Dorsalextension zu beobachten ist <sup>17,34</sup>. Müller-Gerbl beschreibt einen Spannungsanstieg des LFC in der Endphase der Plantarflexion indem es dabei um den Vorderrand der Spitze des Malleolus gewickelt wird. Durch die enge anatomische Beziehung des Lig. fibulocalcaneare mit den Peronealsehnen führt eine Anspannung der Peronealmuskeln auch zu einer Spannungszunahme im LFC <sup>17</sup>.

Das Ligamentum fibulotalare posterius (LFTP) entspringt dorsal der überknorpelten Gelenkfläche an der der Fibulaspitze und zieht annähernd horizontal in lateromedialer Richtung zum Tuberculum laterale des Processus tali. Es wird hauptsächlich in der Endphase der Dorsalextension gespannt <sup>17,30</sup>. Das LFTP ist das stärkste der drei fibulären Außenbänder und zugleich das am seltensten verletzte.

Die bandhafte Verbindung von distaler Tibia und Fibula bildet die Syndesmosis tibiofibularis. Sie besteht aus den Ligg. tibiofibularia anterius und posterius, interosseum, transversum und dem distalen Anteil der Membrana interossea. Mit einer Dicke von ca. 4 mm ist das Lig. tibiofibularis anterior schwächer als das über 6 mm dicke Lig. tibiofibularis posterius <sup>30</sup>. Die Stabilität des oberen Sprunggelenks hängt sehr von der Integrität der Syndesmosis tibiofibularis ab. Dabei ist eine Ruptur der starken Ligg. tibiofibulare posterius und interosseum von wesentlich größerer Bedeutung als eine isolierte Ruptur des schwächeren Lig. tibiofibulare anterius. Nur bei intakter Syndesmose kann die Fibula bis zu 17 % der in den Unterschenkel eingeleiteten Last aufnehmen <sup>32</sup>.

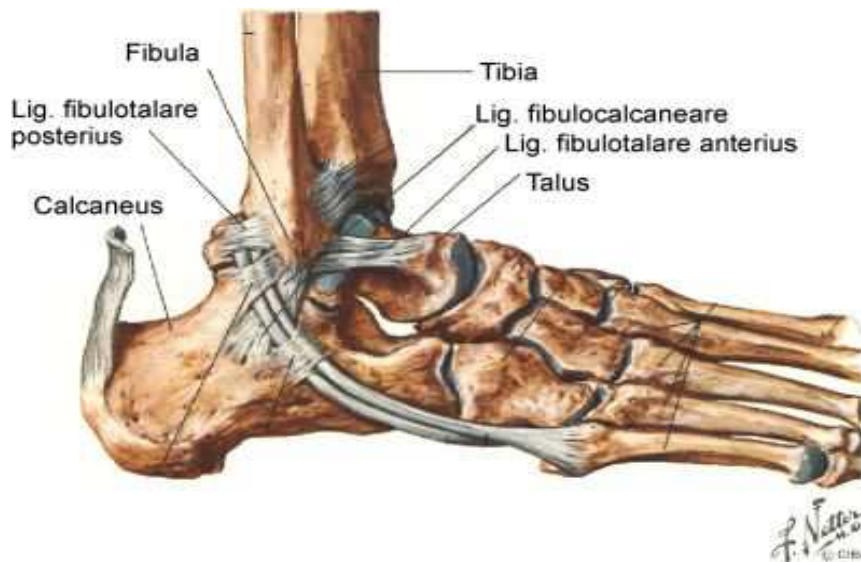


Abbildung 2: lateraler Seitenbandapparat des OSG (aus Netter 2011)

#### I.1.1.4 Muskeln

Mit Ausnahme des M. triceps surae entspringen alle das OSG bewegende Muskeln am proximalen Unterschenkel oder im Bereich der Diaphysen und inserieren an den Ossa metatarsalia. Da am Talus selbst keine Muskeln ansetzen, wird dieser von der Unterschenkelmuskulatur passiv mitbewegt. Die ventral der queren Talusachse verlaufenden Sehnen heben den Fuß, die dorsal verlaufenden senken ihn <sup>17</sup>. Zu den Fußhebern gehören der M. tibialis anterior, M. extensor hallucis longus, M. peroneus tertius und M. extensor digitorum longus. Für die Fußsenkung sind die Mm. triceps surae, tibialis posterior, flexor digitorum longus, flexor hallucis longus und peronei verantwortlich. Die Sehnen dieser Muskeln überspannen das OSG und tragen somit zusätzlich zu dessen Stabilisierung bei <sup>34</sup>.

#### I.1.1.5 Kinematik

Das obere Sprunggelenk ermöglicht die Bewegung des Fußes in Sagittalebene. Die Gelenkachse verläuft durch die Spitzen der beiden Malleoli um 8° nach medial ansteigend und um 6° medial nach vorn gerichtet <sup>30-32</sup>. Es handelt sich aber um keine starre Achse. Bewegungen in der Sagittalebene führen zugleich zu Bewegungen in der Frontal- und Horizontalebene. Diese gekoppelte Bewegung beruht auf Rotationen von Talus und Fibula. In grober Näherung kann das OSG aber als Scharniergelenk betrachtet werden

<sup>17,32</sup>

Der Bewegungsumfang für die Dorsalextension wird zwischen 20° und 30°, für die Plantarflexion zwischen 30° und 50° angegeben <sup>17,30-32</sup>. Diese große Schwankungsbreite kann durch Mitbewegungen der Intertarsalgelenke erklärt werden <sup>31</sup>. Bewegungen des OSG führen zu einer Mitbewegung der Fibula in allen drei Raumrichtungen. So rotiert die Fibula bei maximaler Dorsalextension um ca. 2° nach außen und führt zudem eine vertikale sowie sagittale Bewegung nach dorsal und plantar aus <sup>32</sup>.

#### I.1.1.6 Statik

Das OSG ist bereits bei einfachen Aktivitäten hohen Belastungen ausgesetzt. Bei sportlichen Aktivitäten, wie Joggen, kann diese Belastung auf das Fünffache des Körpergewichts ansteigen. Die physiologische Inkongruenz des OSG ermöglicht dabei weitestgehend die Aufrechterhaltung eines konstanten Gelenkdruckes. Dabei treten unter geringer Last zunächst zwei getrennte Kontaktpunkte auf, welche unter steigender Belastung zusammenfließen und somit die Gelenkfläche vergrößern. Die Zonen höchster Beanspruchung sind an der Tibia die seitlichen Anteile der Facies articularis inferior und am Talus die Facies articularis superior tali <sup>30</sup>.

Lange Zeit wurde der Malleolus lateralis als primärer Stabilisator („Leitstab“) des oberen Sprunggelenks gesehen. So leiteten Hawe et al. <sup>17</sup> aus dem Größenunterschied zwischen Innenknöchel und Außenknöchel ab, dass der größere Malleolus lateralis eine wichtigere Funktion für die Stabilisierung des OSG besäße als der Malleolus medialis. Auch die Tatsache, dass eine Verkürzung der Fibula zu einer Fehlbelastung des OSG führt stützen diese Ansicht <sup>32</sup>.

Die heutige Studienlage spricht allerdings eher für eine größere Rolle der medialen Leitstrukturen als die der lateralen. Zwar führt die Lateralverschiebung des Talus um 1 mm – wie sie bei einer Fraktur des Außenknöchels auftreten kann – zu einer etwa 40% igen Verringerung der tibiotalaren Kontaktfläche, doch zu einer größeren Instabilität führt die Fraktur des Malleolus medialis oder die Ruptur des Lig. deltoideum, welche die anterolaterale Rotation des Talus ermöglichen <sup>32</sup>.

## **I.2 Mechanismus der Sprunggelenksdistorsion**

Der biomechanische Ablauf einer Sprunggelenksdistorsion wurde bisher sowohl in Kadaverstudien als auch Videoanalysen untersucht. Der Großteil aller Sprunggelenksdistorsionen werden durch ein Inversionstrauma verursacht. Deshalb soll im Folgenden nur auf dieses eingegangen werden. In Analogie dazu sind für das Eversionstrauma ähnliche Mechanismen anzunehmen.

Die meisten Sprunggelenksdistorsionen entstehen aus einer falschen Fußposition beim initialen Bodenkontakt. Wird dadurch die nach vertikal projizierte Bodenreaktionskraft medial der Bewegungsachse des Subtalargelenks eingeleitet, entsteht in diesem ein großes Drehmoment, was in einer rapiden Inversion resultieren kann. Ein besonderes Risiko stellt der Vorfußlauf dar. Hierbei bekommt zuerst der Vorfuß Bodenkontakt. Der daraus resultierende Hebelarm ist länger als der bei Krafteinleitung über Fersenkontakt und erzeugt somit ein höheres Drehmoment entlang der Achse des Subtalargelenks.

Ein anderer wichtiger Faktor für die Stabilität im OSG sind die Muskeln des Unterschenkels. Nach Ashton-Miller et al.<sup>35</sup> ereignet sich eine Sprunggelenksdistorsion innerhalb von 40 Millisekunden (ms). Beim Supinationstrauma ist deswegen die Reaktionszeit der antagonistisch wirksamen Pronatoren, der Mm. peroneus longus et brevis entscheidend. Allerdings wird die Reaktionszeit dieser Muskeln beim Gesunden im Stand mit 57 ms bis 69 ms angegeben. Bei einer entsprechenden Krafteinleitung ist die Reaktionszeit demnach um circa 20 ms verzögert. Bis eine effektive Eversion eingeleitet wird, vergehen 176 ms<sup>4,36</sup>. Daraus lässt sich ableiten, dass die Reflexantwort auf ein Distorsionsereignis im Sprunggelenk nicht schnell genug erfolgt um die Distorsion zu verhindern.

## **I.3 Kinderspezifische Verletzungsformen**

Der kindliche Knochen weist im Vergleich zum Adulten diverse Besonderheiten auf. Durch die breitere Kortikalis und den geringeren Mineralisationsgrad ist der kindliche Knochen biegsamer als der des Erwachsenen. Zudem ist das kindliche Periost dicker als das adulte. Schließlich weisen die juvenilen Ligamente ungefähr bis zum Alter von 12 Jahren eine im Vergleich zum Knochen höhere Festigkeit auf. Daher kommt es bei dieser Altersgruppe kaum zu Bandrupturen sondern eher zu knöchernen Bandausrissen<sup>37</sup>.

### I.3.1 Anatomie der Epiphysenfuge

In der Epiphysenfuge erfolgt das Längenwachstum des Knochens. Die Wachstumsfuge der distalen Tibia ist mit ca. 18% am Gesamtlängenwachstum des Beines beteiligt <sup>18</sup>. Sie schließt sich bei den Mädchen mit ungefähr 15 Jahren, bei den Jungen mit ca. 17 Jahren über einen Zeitraum von etwa 18 Monaten. Sie lässt sich von epiphysär nach diaphysär in vier Zonen gliedern (Abb. 3):

1. *Reservezone oder Germinativzone*: Sie besteht aus hyalinem Knorpel
2. *Proliferationszone*: Die Chondrozyten dieser Zone proliferieren und ordnen sich säulenartig an (Säulenknorpel). Diese Zone ist entscheidend für das Längenwachstum des Knochens.
3. *Resorptionszone*: Hier liegen hypertrophierte Chondrozyten in verkalkter Interzellulärsubstanz (Blasenknorpel)
4. *Verknöcherungszone*: Undifferenzierte chondrogene Zellen differenzieren sich in dieser Zone zu Osteoblasten. Diese bilden zuerst den Geflechtknochen welcher später durch Lamellenknochen ersetzt wird.

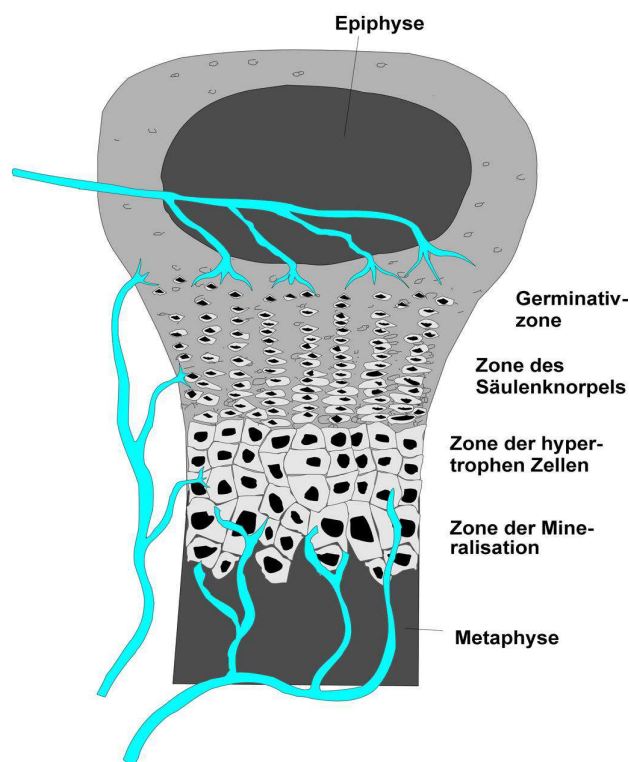


Abbildung 3: Aufbau der Epiphysenfuge (aus Hefti 2006)

Die Epiphysenfuge wird von zwei verschiedenen Seiten mit Blut versorgt. Der metaphysäre Anteil wird bis zur Verknöcherungszone von Kapillaren der Periostalarterien der Diaphyse versorgt. Der epiphyseale Anteil wird von Gefäßen versorgt, die den Knochen an der Epiphyse durchbrechen und deren Kapillaren an der Reservezone enden. Diese Gefäße sind essentiell für die Ernährung der Chondrozyten der Wachstumsfuge<sup>20</sup>. Die Epiphysenfuge stellt eine natürliche Schwachstelle des Knochens dar, weswegen sich hier spezielle Frakturformen zeigen können.

### I.3.2 Epiphysenfugenfrakturen

Durch die anatomische Besonderheit der offenen Wachstumsfugen sind bei Kindern Frakturen möglich, die es bei Erwachsenen nicht gibt – die Epiphysenfugenfrakturen. Sie machen etwa 20% aller kindlichen Frakturen aus<sup>19,25</sup>. Am häufigsten zeigt sich eine Mitbeteiligung der Wachstumsfuge am distalen Radius, gefolgt von der distalen Tibia. Auch die distale Fibula ist oft betroffen<sup>20,38 19,39,40</sup>. Im Standardröntgen können manche dieser Frakturen schwierig zu diagnostizieren sein, weshalb im Zweifel eine Schnittbildgebung erfolgen sollte<sup>19,25</sup>.

Hierbei können sich unterschiedliche Verläufe der Fraktur durch die Wachstumsfuge zeigen. So kann eine Fraktur nur die Fuge betreffen oder aber auch eine metaphysäre und/oder epiphysäre Frakturkomponente zeigen.

Daraus abgeleitet wurden diverse Klassifikationen (Aitken, Steinert, Salter-Harris, Odgen) geschaffen. Am bekanntesten dürfte die 1963 vorgestellte Klassifikation von Robert Salter und William Harris (SH) sein. Diese unterscheiden fünf Typen von Wachstumsfugenverletzungen (Abb. 4):

Die *Salter-Harris 1* Fraktur ist eine Epiphysiolyse ohne Beteiligung der Epiphyse oder Metaphyse. Sie macht etwa 3% - 15% der Wachstumsfugenfrakturen der distalen Tibia aus und ist für gewöhnlich bei Kindern unter 11 Jahren zu sehen<sup>18,41</sup>. Bei fehlender Dislokation kann dieser Frakturtyp auf den initialen Röntgenaufnahmen nur schwer erkennbar sein.

Bei der *Salter-Harris 2* Fraktur geht die Frakturlinie zuerst durch die Fuge und zieht dann durch die Metaphyse. Der dabei entstehende metaphysäre Keil (Thurston-Holland Fragment) imponiert radiologisch als „corner sign“. Die SH 2 Fraktur ist mit 32% bis knapp



50% die häufigste Wachstumsfugenfraktur der distalen Tibia. Das Durchschnittsalter bei dieser Verletzung liegt bei ca. 12 Jahren <sup>18,41</sup>.



Abbildung 4: Die Salter-Harris Klassifikation der Epiphysenfugenfrakturen (oben: schematische Darstellung, unten: die Rote Linie visualisiert den Frakturverlauf; aus <http://orthoinfo.aaos.org>)

Die *Salter-Harris 3* Fraktur ist eine intraartikuläre Fraktur. Der Bruch geht von der Gelenkfläche durch die Epiphyse zur Wachstumsfuge und zieht in dieser zur Peripherie. Mit 16 % ist sie die zweithäufigste Epiphysenfugenfraktur der distalen Tibia und tritt typischerweise bei Kindern im Alter zwischen 12 und 14 Jahren auf <sup>18,41</sup>.

Beim Typ *Salter-Harris 4* geht die Fraktur von der Gelenkfläche durch die Epiphyse, die Wachstumsfuge und die Metaphyse. Etwa 9 % der Wachstumsfugenfrakturen sind vom Typ SH 4, sie tritt wie die SH 3 Fraktur gehäuft bei Kindern und Jugendlichen im Alter zwischen 12 und 14 Jahren auf <sup>18,41</sup>.

Die seltene *Salter-Harris 5* Fraktur ist eine axiale Stauchungsfraktur („crush fracture“) mit Beteiligung der Epiphysenfuge. Dieser Frakturtyp kann auch durch Überrollverletzungen (z.B. landwirtschaftliche Maschinen, LKW-Räder oder Schwerfahrzeuge) hervorgerufen werden. Eine Dislokation ist unüblich <sup>20</sup>. Sie macht wahrscheinlich weniger als 1% der Epiphysenfugenfrakturen aus. Da sie auf den Standardröntgenbildern jedoch häufig nicht zu erkennen ist, dürfte die Dunkelziffer etwas höher liegen <sup>38,39</sup>. Die SH 5 Fraktur kann zu

einer Durchblutungsstörung der Fuge mit anschließender Ausbildung einer Knochenbrücke führen <sup>42</sup>. Aufgrund der Seltenheit dieser Fraktur gibt es keine zuverlässigen Altersangaben.

In den letzten Jahren ist eine Vielzahl an neueren Einteilungen entstanden, welche vor allem den therapeutischen und prognostischen Unterschied zwischen epiphysärer und metaphysärer Beteiligung hervorheben <sup>25,39</sup>. Im klinischen Alltag spielen diese Einteilungen jedoch eine eher untergeordnete Rolle.

### I.3.3 Therapie von Wachstumsfugenfrakturen

Die Behandlung einer Epiphysenfugenfraktur ist nicht für alle Frakturtypen gleich. Zudem spielen weitere Faktoren wie Begleitverletzungen und Frakturdislokation eine Rolle.

Bei der SH 1 Fraktur sollte im Falle einer Dislokation versucht werden geschlossen zu reponieren. Eine offene Reposition ist nur dann anzuraten falls sich bei der geschlossenen Reposition Weichgewebe in den Frakturspalt zwischengelagert hat. Anschließend sollte eine Gipsruhigstellung für ca. 6 Wochen erfolgen <sup>18</sup>.

Die Therapie der SH 2 Fraktur erfolgt analog zur SH 1 Fraktur. Bei Instabiler Fraktursituation sollte das metaphysäre Fragment perkutan mit Kirschnerdrähten fixiert werden <sup>18</sup>.

Nicht dislozierte SH 3 Frakturen können konservativ für ca. 6 Wochen im Gips behandelt werden. Allerdings erfordert die prognostisch wichtige Wiederherstellung einer stufenfreien Gelenkfläche und die schonende Adaption der Fugenanteile meist eine offene Reposition <sup>18,42</sup>.

Bei der SH 4 Fraktur hat wie bei der SH 3 Fraktur die Wiederherstellung einer stufenfreien Gelenkfläche oberste Priorität. Bei der häufig notwendigen Reposition ist eine iatrogene Schädigung der Wachstumsfuge absolut zu vermeiden, weshalb auch hier meist eine offene Reposition anzuraten ist <sup>18,42</sup>.

Bei der seltenen SH 5 Fraktur sollte, um eine weitere Schädigung der Fuge zu vermeiden, die Extremität konsequent entlastet und im Gips ruhiggestellt werden. Zudem sind regelmäßige Nachkontrollen erforderlich, um sich eventuell entwickelnde lokale Wachstumsstörungen frühzeitig zu erkennen <sup>42</sup>.

### I.3.4 Komplikationen nach Epiphysenfugenfrakturen

Wird die Wachstumsfuge durch ein Trauma geschädigt, so kann sie in unterschiedlicher Art und Weise darauf reagieren.

#### I.3.4.1 Wachstumsstörung

Eine Verletzung der Epiphysenfuge kann sowohl zu einer Wachstumsbeschleunigung als auch zu einer Wachstumshemmung bis hin zum vorzeitigen Epiphysenfugenverschluss (Premature Physeal Closure = PPC) führen. Stellt die gesamte Epiphysenfuge nach einer Verletzung ihr Wachstum ein, so führt dies zu einer Verkürzung der Extremität. Stellt hingegen nur ein Teil der Fuge das Wachstum ein, resultiert daraus eine Winkelfehlstellung <sup>20</sup>. Die Angaben zur Inzidenz von Wachstumsstörungen nach Fugenverletzungen variieren teils stark. Nach Rogers <sup>38</sup> führen etwa 30% der Wachstumsfugenverletzungen zu einer messbaren Verkürzung oder Winkelabweichung der betroffenen Extremität. Allerdings sind davon nur 2% - 10% relevant im Sinne einer Funktionseinschränkung <sup>20,38,43</sup>.

In einer Studie von Leary et. al <sup>41</sup> hatte von den Patienten mit SH 1 Frakturen keiner eine PPC. Bei den Kindern mit einer SH 2 Fraktur hatten 25% eine PPC, mit SH 3 Fraktur 10% und mit SH 4 Fraktur 18%. Die allgemeine Inzidenz einer PPC nach einer Epiphysenfugenfraktur lag bei 12%.

Andere Studien jedoch berichten von einer deutlich höheren Rate an vorzeitigen Fugenschlüssen bei SH 1 oder SH 2 Frakturen <sup>7,41</sup>.

#### I.3.4.2 Malunion

Winkel- und Rotationsdifferenzen können durch eine schlechte Reposition oder durch eine in unbefriedigender Position zusammengewachsenen Fraktur entstehen. SH 1 und 2 Frakturen haben die Möglichkeit sich selbst zu korrigieren, vorausgesetzt die Fuge wächst weiter, das Kind ist jung und die Deformität ist in der Bewegungsebene des nächsten Gelenkes <sup>20</sup>. Bei den SH 2 Frakturen treten in 11 % Winkeldifferenzen auf. SH 1 Frakturen sind davon weniger betroffen. Rotationsdifferenzen werden sowohl nach SH 1 und 2 Frakturen gesehen <sup>18</sup>.

#### I.3.4.3 Avaskuläre Nekrose der Epiphyse

Je höher der Grad der Frakturdislokation ist, desto höher ist auch die Wahrscheinlichkeit einer daraus resultierenden Durchblutungsstörung. Verliert die Epiphysenplatte ihre Blutzufuhr sterben die Chondrozyten ab und werden durch Fibrozyten ersetzt. Daraus resultiert ein Wachstumsstopp der Epiphysenfuge <sup>20</sup>.

#### I.3.5 Prognostische Faktoren

Die Prognose einer Wachstumsfugenverletzung hängt von Faktoren wie Frakturtyp, Frakturlokalisierung, Unfallmechanismus, Blutversorgung der Epiphyse, Patientenalter, Anzahl der Repositionen und der Behandlungsmethode ab.

Grundsätzlich kann jede Wachstumsfugenfraktur zu einer epiphysären Wachstumsstörung führen. In der Praxis aber gehen SH 1 – 3 Frakturen mit einer guten Prognose einher, wohingegen die SH 4 Fraktur ein größeres Risiko einer relevanten Wachstumsstörung birgt <sup>19,20</sup>. Die schlechteste Prognose haben SH 5 Frakturen, hier ist die Gefahr einer relevanten Verkürzung oder Winkelabweichung der Extremität bis zu 100% <sup>38</sup>.

Prognostisch von großer Bedeutung ist auch die Größe der Dislokation der Bruchfragmente und des Bruchspaltes. Eine Abweichung von unter 2 mm kann dabei toleriert werden, Dislokationen und Bruchspalte über 2 mm erfordern eine Reposition <sup>18,42</sup>. Leary et al.<sup>41</sup> konnten in ihrer Studie nachweisen, dass jeder Millimeter Restfrakturspalt das Risiko einer PPC um 33% steigert.

Auch die Unfallursache hat Auswirkungen auf die Entwicklung eines vorzeitigen Wachstumsfugenschlusses. Bei Unfällen mit Kraftfahrzeugen ist die Wahrscheinlichkeit einer PPC höher als nach Sportunfällen oder eines Sturzes <sup>41</sup>. Ursächlich hierfür könnte sein, dass es sich bei Verkehrsunfällen häufig um ein Hochenergie-Trauma handelt, wohingegen die meisten Sportunfälle den Niedrigenergie-Traumata zuzurechnen sind.

Des Weiteren spielt der Unfallmechanismus eine prognostische Rolle. Pronations-Abduktions-Frakturen (PA) bergen ein höheres Risiko für einen vorzeitigen Fugenschluss als Supinations–Außenrotations-Frakturen (SE) <sup>40</sup>. Dies liegt möglicherweise daran, dass

das Trauma PA-Frakturen größer ist als bei den SE-Frakturen.

Darüber hinaus kann die Richtung der einwirkenden Kraft (kratzend im Gegensatz zu Rotation bei einer SE-Verletzung) während einer AP-Verletzung substantiellen Knorpelschaden anrichten <sup>40</sup>.

## I.4 Nicht kinderspezifische Verletzungen

Neben den o.g. Verletzungen, die nur an der kinderspezifischen Wachstumsfuge auftreten, gibt es noch andere Verletzungen, welche sowohl beim Erwachsenen, als auch bei Kindern auftreten können.

### I.4.1 Bandverletzungen

Bandverletzungen am Sprunggelenk gehören zu den häufigsten Verletzungen überhaupt <sup>5,10,11,29,44-50</sup>. Am häufigsten ist das LFTA betroffen, gefolgt vom LFC und LFTP. Verletzungen des Lig. deltoideum sind eher selten.

Bandverletzungen am OSG werden je nach Schwere der Verletzung in drei Grade unterteilt (Tab. 1).

	<b>Pathologie</b>	<b>Klinische Zeichen</b>
<b>Grad I (mild)</b>	nur Banddehnung keine Instabilität	kein oder geringes Hinken Vollbelastung möglich
<b>Grad II (moderat)</b>	partielle Bandruptur leichte bis moderate Instabilität	Hinken Schmerzen bei Belastung Hämatom
<b>Grad III (schwer)</b>	komplette Bandruptur signifikante Instabilität	starke Funktionseinschränkung Belastung nicht oder kaum möglich deutliches Hämatom

*Tabelle 1: Klassifikation der Bandverletzungen des OSG*

Die Diagnose einer Bandverletzung erfolgt zunächst klinisch. Typische Befunde sind hierbei Druckschmerz, Schwellung und Hämatom. Eine Stabilitätstestung ist bei der akuten OSG-Distorsion häufig nicht suffizient möglich. Im Standardröntgen ist eine akute

Bandläsion inapparent. Um eine eventuell vorhandene Instabilität nachzuweisen fertigen manche Kliniken daher gehaltene Aufnahmen an. Im Gegensatz zur chronischen Instabilität ist die Aussagekraft gehaltener Aufnahmen bei akuten Sprunggelenksverletzungen jedoch deutlich schlechter <sup>10,51</sup>. Auch mittels Sprunggelenkssonographie lässt sich eine Bandläsion nur schwer und unzuverlässig diagnostizieren. Die eindeutige Diagnose mit Schweregradeinteilung ist somit Domäne der MRT <sup>10,19,27,29,46,48-50,52</sup>. Aufgrund der verhältnismäßig hohen Kosten und der meist fehlenden therapeutischen Konsequenz des Befundes ist der Nutzen eher fraglich.

Die Behandlungsregime für die OSG-Distorsion variieren. Grad I Läsionen werden häufig nur mittels elastischen Salbenverband behandelt. Grad II und III Läsionen werden in der Regel kurzfristig für ca. eine Woche ruhiggestellt und anschließend funktionell nachbehandelt <sup>1,3,49</sup>.

#### I.4.2 Bone bruise

Die Entität des Bone bruise wurde erst durch die MRT beschrieben. Darunter versteht man eine traumabedingte Läsion des subkortikalen Knochens mit abnormer Signalintensität in der MRT bei normalem Röntgenbefund. Die Erstbeschreibung dieser Verletzung erfolgte durch Mink u. Deutsch <sup>53</sup> im Jahr 1989. Synonym dazu werden häufig die Begriffe Knochenmarksödem, okkulte Knochenläsion, okkulte intraossäre Fraktur oder Knochenkontusion gebraucht. In den T1-gewichteten Sequenzen stellt sich ein Bone bruise als Areal mit Signalverlust, in der T2-gewichteten Sequenz als Zone mit Signalerhöhung dar. Die beste Darstellung gelingt aber mit der fettunterdrückten STIR (short tau inversion recovery)-Sequenz. Die Signalerhöhung in der STIR- und T2-Sequenz entspricht einem Ödem oder Blut (Abb. 5 - 7).

Genauer betrachtet handelt es sich bei einem Bone bruise um Mikrofrakturen der gewichttragenden Trabekulae im subkortikalen Bereich bei intaktem Gelenkknorpel mit begleitender Hämorrhagie sowie einem Ödem. Histologisch zeigt sich beim Bone bruise nach Johnson et al. <sup>54</sup> eine Chondrozytendegeneration und -nekrose, Proteoglykanverlust der Chondrozyten sowie Osteozytennekrosen.



Abbildung 5: isolierter Bone bruise (weißer Pfeil) im Bereich des Malleolus medialis



Abbildung 6: ausgeprägter Bone bruise an der distalen Fibula (weißer Pfeil)



Abbildung 7: ausgeprägter Bone bruise der distalen Tibia bei SH-3-Fraktur (weiße Pfeile)

Derzeit existieren unterschiedliche Klassifikationen, wobei die nach Mink u. Deutsch und die Vellet-Klassifikation die gebräuchlichsten sind.

Mink u. Deutsch <sup>53</sup> definierten vier Kategorien okkultter Frakturen:

1. Bone bruise
2. Stressfraktur
3. femorale und tibiale Fraktur
4. osteochondrale Fraktur

Ein Bone bruise setzt per definitionem eine traumatische Genese voraus. Hierbei sind verschiedene Verletzungsmechanismen möglich:

- Direkte Kontusion durch eine von außen auf den Knochen einwirkende Kraft
- Kompression, z.B. durch supraphysiologische Krafteinwirkung
- übermäßige Traktion / Avulsion am Sehnen-Knochen-Übergang
- Mikrotraumata wie z.B. durch intensives Joggen

Die Inzidenz des Bone bruise nach einer OSG - Distorsion beträgt 17 % - 44%<sup>24,48,55,56</sup>. Es existieren keine einheitlichen klinischen Symptome, die auf einen Bone bruise hindeuten. Die Spanne reicht von völliger Asymptomatik bis hin zu prolongierten Schmerzen, Gelenkerguss und Schwellungen<sup>57</sup>. Ein Bone bruise zeigt an, welche Knochenanteile beim Trauma einer erhöhten Belastung ausgesetzt waren. Darum sieht man ihn oft an miteinander korrespondierenden gelenkbeteiligten Knochen, z.B. distaler Tibia und Talus. Aufgrund dieser Tatsache wird der Bone bruise von manchen Autoren als „Fingerabdruck eines Verletzungsmechanismus“ beschrieben<sup>58</sup>. Häufig ist er mit Begleitverletzungen wie z.B. Bandläsionen assoziiert<sup>48,55,56</sup>.

Bone bruises können noch über ein Jahr nach dem Trauma nachweisbar sein<sup>22</sup>. Bei 80% der Läsionen tritt jedoch eine Signalnormalisierung nach bereits 2 – 4 Monaten ein<sup>23</sup>. Dabei besteht kein Zusammenhang zwischen Nachweisbarkeit eines Bone bruise und klinischen Symptomen<sup>58</sup>.

Ob ein isolierter Bone bruise einer gesonderten Therapie bedarf, ist noch Gegenstand der wissenschaftlichen Diskussion. Ein asymptomatischer Bone bruise bedarf nach Meinung mehrerer Autoren aufgrund seines selbstlimitierenden Auftretens keiner Therapie<sup>55,59</sup>. Andere jedoch sehen in einem Bone bruise eine eigenständige Erkrankung, welche je nach Schwere der Knochenschädigung einer Behandlung bedarf<sup>60</sup>. Bei einem symptomatischen Bone bruise werden lokale physikalische Maßnahmen, die Einnahme von Analgetika wie z.B. Paracetamol sowie schmerzadaptierte Belastung empfohlen. Ergänzend kann Calcium sowie Vitamin D3 gegeben werden. Da die Heilungszeit des Bone bruise nicht wesentlich unter der von kompletten Frakturen liegt, sollte zusätzlich seine Sportkarenz für bis zu 3 Monaten erwogen werden. Auf NSAR (Nichtsteroidale Antirheumatika) sollte aufgrund ihres negativen Einflusses auf die Knochenheilung möglichst verzichtet werden<sup>60,61</sup>. Bei gleichzeitig vorhandenen Begleitverletzungen wie



Bandläsionen steht jedoch deren Therapie im Vordergrund <sup>57</sup>.

Ebenfalls noch ungeklärt ist die Frage, welche Folgeschäden ein Bone bruise nach sich ziehen kann. Von manchen Autoren wird im Bone bruise aufgrund der Zerstörung der trabekulären Struktur und der damit veränderten Compliance des subchondralen Knochens ein möglicher Ausgangspunkt für eine sekundäre Knorpelschädigung, und damit für eine Arthrose oder OCL gesehen <sup>23,54,62,63</sup>.

### I.4.3 Osteochondrale Läsionen (OCL)

Während der Bone bruise eine Pathologie des spongiösen Knochens darstellt, kann nach einer Sprunggelenksdistorsion auch eine den subchondralen Knochen betreffende Pathologie auftreten, die osteochondrale Läsion (Abb. 8). Sie stellt eine relativ seltene, aber ernst zu nehmende Begleit- oder Folgeverletzung der Sprunggelenksdistorsion dar.

Osteochondrale Läsionen stellen eine Sonderform der aseptischen Knochennekrosen dar. Synonym wird häufig der Begriff Osteochondrosis dissecans (OD) verwendet.

Die OCL des Talus stellt nach der am Knie- und Ellenbogengelenk die dritthäufigste Lokalisation dar. Sie tritt bevorzugt an konvex geformten Gelenkflächen auf. Zudem findet sie sich häufig an Stellen, an denen Druckmaxima auftreten <sup>64</sup>. Ihrer Entstehung können folgende Ursachen zugrunde liegen:

- traumatische oder mikrotraumatische Faktoren
- vaskuläre Faktoren
- genetische Faktoren
- endogene Faktoren

Als häufigster ätiopathogenetischer Faktor der OCL wird das Trauma angesehen. Dies gilt besonders für Läsionen am lateralen Talusdom, während Läsionen am medialen Talusdom häufig auch andere der genannten Ursachen zu Grunde liegen.

Warum sich nur bei einem eher geringen Teil an Sprunggelenksdistorsionen OCL ausbilden, ist nach wie vor unklar. Möglicherweise bedarf es eines Zusammenspiels mehrerer Faktoren oder die überschwellige Expression eines Einzelfaktors, der zur Manifestation der Erkrankung führt <sup>64</sup>.

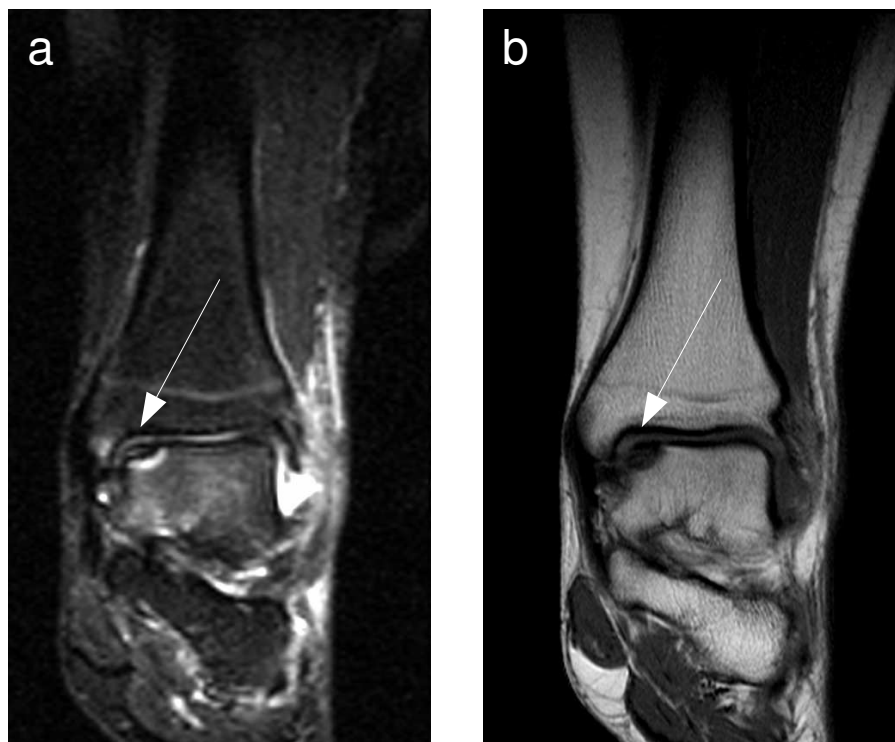
Die klinische Untersuchung ist bei OCL häufig nicht zielführend, da sie keine

eigenständige Symptomatik aufweisen. Häufig finden sich unspezifische Schmerzen, Schwellungen, Gelenkergüsse und Bewegungseinschränkungen, seltener werden Gelenkblockaden oder ein „Schnappen“ des Gelenks angegeben <sup>15,65,21,64 66</sup>.

Die erste und derzeit wohl auch gebräuchlichste Klassifikation der OCL stammt von Berndt und Harty aus dem Jahre 1959 <sup>67</sup>. Nach ihnen können vier verschiedene Stadien unterschieden werden:

- Stadium I: subchondrale Osteonekrose
- Stadium II: sklerotische Demarkation
- Stadium III: Dissekat in Situ
- Stadium IV: freies Dissekat

Die Klassifikation nach Berndt und Harty stützt sich auf die konventionelle Röntgenbildgebung. Neuere Untersuchungsverfahren wie CT und MRT haben ihre eigenen Klassifikationen, wobei die Ursprüngliche Einteilung nach Berndt und Harty meist die Grundlage bildet (Abb. 8).



*Abbildung 8: Darstellung einer osteochondralen Läsion des Talus in der MRT (Pfeile). In der STIR-Sequenz (a) ist deutlich der weiß aufleuchtende Sklerosesaum erkennbar. Die T1w-SE-Sequenz (b) erlaubt eine gute Beurteilung des Knochens und Knorpels*

Insgesamt ist das Standardröntgen keine geeignete Methode, um eine OCL sicher zu diagnostizieren <sup>15,21,68</sup>. In ihm können nur fortgeschrittene und ausreichend große OCL dargestellt werden. Deutlich besser geeignet sind hier CT und MRT <sup>15,21,69</sup>. Der Goldstandard zur Befunderhebung und Einteilung der osteochondralen Läsion bleibt allerdings die Arthroskopie <sup>11,15</sup>.

Therapeutisch ergibt sich ein Unterschied zwischen akuter und chronischer OCL. Bei akuten Läsionen steht häufig die operative Therapie im Vordergrund. Hierbei werden kleine OCL arthroskopisch exzidiert, größere OCL werden verschraubt. Bei den chronischen OCL richtet sich die Therapie nach dem Stadium. Ein konservativer Therapieversuch mit Immobilisation und Entlastung kann bei einer OCL Grad I und II sowie einer posteromedialen Läsion Grad III erfolgen. Grad-IV-Läsionen sollte die operative Therapie im Vordergrund stehen.

Die operative Standardtherapie ist hierbei die Exzision der instabilen Knorpelanteile mit anschließender Mikrofrakturierung. Dies soll zur Bildung von Faserknorpel führen, welcher allerdings weniger belastungsfähig ist als hyaliner Knorpel. Aus diesem Grunde ist die Mikrofrakturierung für größere Läsionen nicht gut geeignet. Choi et al. fanden hierbei den Cutoff bei einer Defektgröße von 150 mm<sup>2</sup> <sup>70</sup>.

Bei größeren OCL sowie OCL mit expansiven subchondralen Zysten kommen aufwändigere Verfahren wie die autologe Knorpel-Knochen-Transplantation (OATS), die Chondrozytentransplantation (ACT) oder die retrograde Anbohrung zur Anwendung <sup>15</sup>.

#### I.4.4 Frakturen

Wenn die Epiphysenfuge bereits verknöchert ist, ergeben sich andere, adulte Frakturformen. Eine typische Klassifikation für z. B. distale Fibulafrakturen ist die Klassifizierung nach Danis - Weber. Hier werden drei Frakturtypen, ausgehend von der Frakturlokalisation in Korrelation zur Syndesmose unterschieden <sup>71</sup>:

- Weber A: Außenknöchelfraktur unterhalb der Syndesmose (Syndesmose immer intakt)
- Weber B: Außenknöchelfraktur auf Höhe der Syndesmose (Syndesmose möglicherweise verletzt)
- Weber C: Außenknöchelfraktur oberhalb der Syndesmose (Syndesmose immer verletzt)

### **I.4.5 Posttraumatische Arthrose**

Wenn auch noch Jahre nach einer Sprunggelenksverletzung Schmerzen bestehen oder ohne adäquates Trauma erneut Schmerzen auftreten, kann dies auf eine posttraumatische Arthrose hindeuten. Alle Sprunggelenksfrakturen, insbesondere jedoch die intraartikulären bergen das Risiko einer posttraumatischen Arthrose. Hauptverantwortlich hierfür sind schlecht reponierte Frakturen, da bereits kleine Stellungs- oder Winkelfehler zu einer deutlichen Mehrbelastung des Sprunggelenkes führen welche vom Gelenkknorpel auf Dauer nicht kompensiert werden können <sup>18</sup>. Auch eine chronische OSG-Instabilität kann in eine posttraumatische Arthrose münden.

Klinisch zeigen sich die typischen Arthroseschmerzen mit zunächst Anlauf- und Belastungsschmerzen, später auch Ruhe und Nachtschmerzen mit Einschränkung der Gehstrecke.

Diagnostisch sollte eine Röntgenaufnahme des Sprunggelenkes in zwei Ebenen erfolgen. Bei Unklarheit des Befundes sollte sich eine CT oder MRT anschließen.

Bei geringgradiger Ausprägung kann eine konservative Therapie mit Entlastung und lokalen physikalischen Maßnahmen erfolgversprechend sein. Bei schwergradiger Arthroseausprägung kann als ultima ratio eine OSG-Arthrodeese notwendig werden.

## **I.5 Diagnostik bei Sprunggelenksverletzungen**

### **I.5.1 Klinische Untersuchung**

Die klinische Untersuchung ist die Grundlage zur Beurteilung einer Verletzung. Schwellungen, Blutergussverfärbung, Belastungsfähigkeit und Lokalisation des Schmerzes können bereits Hinweise auf vorhandene Läsionen geben. In manchen Fällen kann eine sorgfältige klinische Untersuchung sogar eine weitere Diagnostik überflüssig machen. Bei starken Schmerzen oder Incompliance des Patienten kann die klinische Untersuchung jedoch nicht adäquat durchführbar sein. Eine Sonderform der klinischen Untersuchung stellen die Ottawa Ankle Rules dar.

### I.5.1.1 Ottawa Ankle Rules

Obwohl die Inzidenz von relevanten Sprunggelenksfrakturen nach erlittenem Trauma bei unter 15% liegt, werden fast ausnahmslos bei jedem Patienten Röntgenaufnahmen vom betroffenen Sprunggelenk angefertigt. Diese sind damit nach Aufnahmen der Halswirbelsäule die zweithäufigste muskuloskeletale Untersuchung in chirurgischen Ambulanzen <sup>12</sup>. Dies führt zu einer vermehrten Strahlenbelastung, höheren Wartezeiten in den Radiologischen Abteilungen und höheren Gesundheitskosten <sup>12,72</sup>. Zudem bieten die initialen Standardröntgenaufnahmen häufig keinen zusätzlichen diagnostischen Wert.

Die klinische Untersuchungsroutine sieht diese Aufnahmen jedoch nahezu immer vor. Möglicherweise spielt auch die Angst vor rechtlichen Konsequenzen im Falle einer übersehenen Fraktur eine Rolle, dass teils vermeidbare Röntgenaufnahmen gemacht werden <sup>12,73</sup>. Andererseits erwarten jedoch auch die Patienten häufig eine Röntgendiagnostik „nur um sicher zu sein“.

Vor diesem Hintergrund entwickelten Stiell et al. <sup>12</sup> im Jahre 1992 klinische Entscheidungshilfen die festlegten, ob eine Röntgenaufnahme indiziert ist oder nicht. Dies war die Geburtsstunde der *Ottawa Ankle Rules (OAR)*. Besonders wichtig bei der Entwicklung der OAR war es Stiell, eine möglichst hohe Sensitivität bezüglich einer vorliegenden OSG - Fraktur zu erreichen. Tatsächlich wurde ein Modell gefunden, welches bei den über 18-jährigen diesen Anforderungen entsprach. Die Kriterien waren wie folgt:

- 1) Alter von 55 Jahren oder älter
- 2) Unfähigkeit die Extremität für vier Schritte zu belasten (sowohl akut nach dem Trauma als auch in der Ambulanz)
- 3) Knochendruckschmerz entlang der distalen 6 cm der Hinterkante oder der Spitze der Malleoli

Eine Röntgenaufnahme des Sprunggelenks ist demnach nur nötig, wenn Schmerzen im Bereich der Malleoli bestehen **und** eines oder mehrere der o.g. Kriterien zutrifft (Abb. 5).

Mittlerweile existieren noch weitere klinische Entscheidungshilfen welche sich jedoch im Wesentlichen an die OAR anlehnen. Namentlich sind dies die *Bernese Ankle Rules*, das *Low-Risk Exam* und der *Malleolar Zone Algorithm* <sup>13,14</sup>.

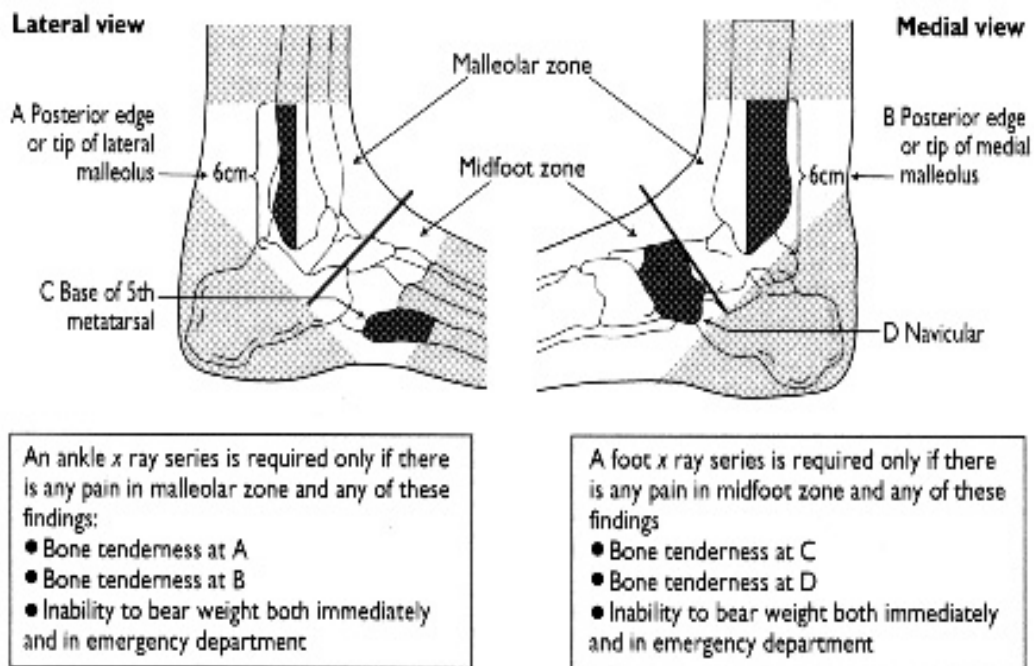


Abbildung 5: Die Kriterien der Ottawa Ankle Rules (Stiell 1992)

## I.5.2 Röntgen

Röntgenaufnahmen stellen bei Sprunggelenksverletzungen derzeit noch den Goldstandard dar. Als Standardaufnahme wird prinzipiell die anterior-posteriore (a.-p.) sowie die möglichst exakte seitliche Einstellung gewählt <sup>27</sup>. Im Standardröntgen können vor allem dislozierte knöcherne Läsionen gut dargestellt werden. Bei Kindern ist die Aussagekraft des Standardröntgens jedoch wegen der Epiphysenfugen eingeschränkt. In manchen Fällen ist daher der Einsatz von Schnittbildverfahren indiziert.

## I.5.3 Schnittbildverfahren

Die Schnittbildverfahren halten immer mehr Einzug in die klinische Routine. Sie kommen häufig dann zum Einsatz, wenn nicht eindeutige Röntgenbefunde vorliegen. Im Wesentlichen handelt es sich hierbei um die CT und MRT.

Die Computertomographie ist vor allem zur Darstellung knöcherner und knorpeliger Läsionen gut geeignet. Sie ist an vielen Häusern verfügbar und zügig durchführbar. Allerdings geht sie mit einer nicht zu vernachlässigenden Strahlenbelastung einher. Diese wichtige Einschränkung ist für Kinder und Jugendliche besonders relevant, zeigen sie doch gegenüber Erwachsenen eine deutlich höhere Strahlensensibilität <sup>25</sup>.

Die Magnetresonanztomographie ermöglicht die Darstellung von nicht ossifizierten Anteilen des Skeletts wie Wachstumsfugen, Knorpel, Bändern, Sehnen und Muskulatur <sup>27</sup>. Sie ist ein relativ zeitintensives und kostenträchtiges Verfahren. Im Gegensatz zur CT erfolgt bei der MRT jedoch keine Strahlenbelastung. Für eine Akutdiagnostik ist die MRT jedoch aufgrund der geringeren Verfügbarkeit und damit teils langen Wartezeiten weniger geeignet.

## **II. Patienten und Methoden**

### **II.1 Art der Studie**

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine retrospektive Analyse von Krankenakten und klinischer Nachuntersuchung.

### **II.2 Einschlusskriterien**

Die Einschlusskriterien für die Beteiligung an unserer Studie wurden wie folgt festgelegt:

- A) *Akute Sprunggelenksdistorsion mit unauffälligem Röntgenbefund bezüglich ossärer Läsionen:*  
Patienten, bei denen im Röntgen zwar keine Frakturdiagnose gestellt wurde, eine Fraktur jedoch nicht sicher ausgeschlossen werden konnte, wurden eingeschlossen. Ebenso wurden Patienten mit irrelevanten Weichteilbefunden wie Schwellung über einen der Malleoli eingeschlossen.
  
- B) *Persistenz der Beschwerden bei der/den Kontrolluntersuchung/en über eine Woche oder länger:*  
Zur Beurteilung der Beschwerdepersistenz wurden die Kriterien der OAR herangezogen.
  
- C) *Alter zum Unfallzeitpunkt zwischen 6 und 17 Jahren:*  
Da kleinere Kinder nach unserer Erfahrung sehr selten eine Sprunggelenksdistorsion erleiden und die MRT bei ihnen meist nur in Narkose durchführbar ist, legten wir das Mindestalter auf 6 Jahre fest. Das Höchstalter von unter 18 Jahren ergab sich automatisch aus der Zuständigkeit einer Kinderchirurgie.



## II.3 Ausschlusskriterien

- A) Bereits auf den initialen Röntgenbildern diagnostizierte Sprunggelenksfraktur oder V.a. eine Sprunggelenksfraktur
- B) Verlaufskontrolle bei Beschwerdepersistenz mittels Röntgen oder CT, jedoch keine MRT

## II.4 Patienten

Wir suchten zunächst in der Datenbank der Kinderchirurgischen Klinik und Poliklinik des Dr. von Haunerschen Kinderspitals der Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU) nach Patienten, bei denen die Diagnose OSG - Distorsion (ICD-10: S93.4) gestellt wurde. Dies waren im Zeitraum vom 01.01.2005 bis 30.09.2009 427 Patienten. Danach wurden die Patienten exkludiert, welche nicht den Einschlusskriterien entsprachen. Dies führte zur Exklusion von 374 Patienten. 53 Patienten erfüllten die Einschlusskriterien in unsere Studie.

Bei der initialen Untersuchung nach dem Unfall wurden die Körpergröße und das Gewicht von 39 Kindern und Jugendlichen erfragt. Somit konnte der BMI anhand folgender Formel berechnet werden:

$$\text{BMI} = \frac{\text{Körpergewicht}}{\text{Körpergröße}^2} \text{ in } \frac{[\text{kg}]}{[\text{m}^2]}$$

Mit den errechneten BMI-Werten wurde anhand der BMI-Tabelle nach Connors bestimmt, ob zum Unfallzeitpunkt Untergewicht, Normalgewicht oder Übergewicht bestand (Tab. 2). Dabei wurden auch die geschlechtsspezifischen Unterschiede beachtet.

Alter	starkes Untergewicht	Untergewicht	Normalgewicht	Übergewicht	starkes Übergewicht
7 J	12,2	13,2	15,4	18,2	23,1
8 J	12,2	13,2	15,9	18,8	22,3
9 J	13	13,7	16,4	19,8	23,4
10 J	13,4	14,2	16,9	20,7	23,4
11 J	13,8	14,6	17,7	20,8	22,9
12 J	14,8	15	18,4	21,5	23,4
13 J	15,2	15,6	18,9	22,1	24,4
14 J	16,2	17	19,4	23,2	26
15 J	16,9	17,6	20,2	23,2	27,6
16 J	16,9	17,8	20,3	22,8	24,2
17 J	17,1	17,8	20,5	23,4	25,7
18 J	17,6	18,3	20,6	23,5	25

Tabelle 2: BMI-Tabelle nach Conners für Mädchen

Alter	starkes Untergewicht	Untergewicht	Normalgewicht	Übergewicht	starkes Übergewicht
7 J	13	13,6	16,1	19,2	21,1
8 J	12,5	14,2	16,4	19,3	22,6
9 J	12,8	13,7	17,1	19,4	21,6
10 J	13,9	14,6	17,1	21,4	25
11 J	14	14,3	17,8	21,2	23
12 J	14,6	14,8	18,4	22	24,8
13 J	15,6	16,2	19,1	21,7	24,5
14 J	16,1	16,7	19,8	22,6	25,7
15 J	17	17,8	20,2	23,1	25,9
16 J	17,8	18,5	21	23,7	26
17 J	17,6	18,6	21,7	23,7	25,8
18 J	17,6	18,6	21,8	24	26,8

Tabelle 3: BMI-Tabelle nach Conners für Jungen

## II.5 Diagnostik

### II.5.1 Körperliche Untersuchung

Bei der Erstkonsultation wurden alle 53 Kinder und Jugendlichen von erfahrenen kinderchirurgischen Assistenzärzten in der Ambulanz des Dr. von Haunerschen Kinderspitals klinisch weitgehend standardisiert untersucht. Neben den Kriterien der OAR wurde auf sonstige lokale Druckschmerzhaftigkeit, Schwellungen, Bewegungseinschränkungen, Hämatome und Instabilitäten geprüft.

Die erste klinische Kontrolluntersuchung erfolgte circa eine Woche nach der initialen

Untersuchung. Nach Abnahme der Longuette erfolgte eine erneute Beurteilung des Sprunggelenks anhand der o.g. Kriterien.

## II.5.2 Röntgen

Im Anschluss an die initiale klinische Untersuchung wurde von jedem der 53 Kinder und Jugendlichen Röntgenaufnahmen des Sprunggelenks angefertigt.

Die Aufnahmen wurden standardmäßig in zwei Ebenen (anteroposteriore und laterale Projektion) auf einem Röntgentisch der Firma Philips (Bucky Diagnost CS) mit Kinderfilter (1 mm Aluminium, 0,1 mm Kupfer) angefertigt. Die Aufnahme im anteroposterioren Strahlengang erfolgte zur exakten Einsicht in den talocruralen Gelenkspalt in 20° Innenrotation.

Bestand zudem ein Druckschmerz im Bereich des Mittelfußes, so ordneten wir zusätzliche Röntgenaufnahmen des Fußes in seitlicher und dorso-plantarer Richtung an. Auf gehaltene Aufnahmen wurde gänzlich verzichtet.

Die primäre Beurteilung der Röntgenbilder erfolgte durch den behandelnden Assistenzarzt und die anwesende kinderchirurgische Oberärztin. Bei unklaren Befunden wurde direkt ein Kinderradiologe hinzugezogen. Am nächsten Tag erfolgte eine gemeinsame Beurteilung aller Bilder zusammen mit den Kollegen der Kinderradiologie.

Die schriftlichen Befunde der Kinderradiologen lagen in der Regel nach einem Tag vor. Die Befundung erfolgte unter Kenntnis des Unfallherganges und der klinischen Untersuchungsergebnisse.

Epiphysenfugenfrakturen wurden nach Salter-Harris klassifiziert, osteochondrale Verletzungen nach Berndt und Harty.

## II.5.3 Magnetresonanztomographie

Nach ausführlicher Aufklärung wurde von allen 53 Patienten eine MRT des betroffenen Sprunggelenkes angefertigt. Die Untersuchung wurde in der radiologischen Klinik Innenstadt der LMU München mit einem 1,5 Tesla Gerät (Siemens Magnetom Vision®) unter Verwendung einer Kniespule durchgeführt. Gelagert wurden die Kinder und Jugendlichen in Rückenlage mit den Füßen voran, der Fuß wurde bei der Untersuchung im rechten Winkel zum Bein gelagert. Falls dies schmerzbedingt nicht möglich war, wurden auch abweichende Winkel toleriert.

Durchschnittlich wurde die Magnetresonanztomographie 19 Tage nach dem Trauma

durchgeführt, die kürzeste Zeit waren 3 Tage, die längste 113 Tage.

Das Untersuchungsprotokoll beinhaltete T1-gewichtete Spin-Echo Sequenzen in coronarer und sagittaler Richtung, STIR (Short Tau inversion recovery) Sequenzen in coronarer und sagittaler Richtung und PD FatSat (Proton-density fat saturation) Sequenzen in transversaler Ebene. Die genauen Messparameter sind in Tab. 4 dargestellt.

In den T1w Sequenzen stellt sich Flüssigkeit hypointens und Fett hyperintens dar. Die T2w Sequenzen zeigen sowohl Flüssigkeit als auch Fett hyperintens. Zur besseren Unterscheidung zwischen Flüssigkeit und Fett können daher die wassersensitiven und fettunterdrückenden STIR bzw. PDfs-Sequenzen herangezogen werden.

<b>Sequenz</b>	<b>T1SE</b>	<b>STIR</b>	<b>PDfs</b>
Schnittführung	coronar + sagittal	coronar + sagittal	transversal
TR (ms)	400 - 600	4500	2000
TE (ms)	20	29	45
Matrix	512x256	192x256	320x256
Schichtdicke (mm)	3	3	3
FOV (mm)	180x135	180x135	160x140

*Tabelle 4: Messparameter der Untersuchungssequenzen (TR= Time of repeat; TE = Time of echo; FOV = Field of view)*

Die Magnetresonanztomographie erfolgte in allen Fällen nach Entfernung der Longuette. Die Auswertung der MRT-Bilder erfolgte durch erfahrene Radiologen des Instituts für klinische Radiologie der Universität München. Die Befundung erfolgte unter Kenntnis der Befunde der konventionellen Röntgenaufnahmen sowie der klinischen Befunde.

Die Einteilung der Epiphysenfugenfrakturen und OCL erfolgte in Analogie zum konventionellen Röntgen nach Salter-Harris bzw. Berndt und Harty.

## **II.6 Definition relevanter Pathologien**

Als relevant sahen wir Befunde an, die eine Therapieanpassung bzw. -abweichung vom Standardschema der Behandlung einer OSG-Distorsion bedingten. Sie richtete sich also nach der therapeutischen Konsequenz des Befundes.

Da wir in unserer Klinik eine einfache Sprunggelenksdistorsion nach dem gleichen Schema behandeln wie eine Sprunggelenksdistorsion mit einer Läsion der Kollateralbänder, wurden Läsionen der Kollateralbänder als nicht relevant eingestuft. Auch einen isolierten, kleinen Bone bruise stufen wir als nicht therapiebedürftig ein. Da bei ausgedehnten Bone bruises eine Therapie mittels schmerzadaptierter Teilbelastung diskutiert wird, sahen wir einen ausgedehnten Bone bruise als Befund mit klinischer Relevanz an. Ein Bone bruise wurde von uns als ausgedehnt klassifiziert, wenn er flächig ausgedehnt an mindestens zwei Knochen des OSG zu finden war. Insgesamt wurden von uns folgende Pathologien als therapierelevant eingestuft:

- ausgedehnter Bone bruise im Bereich des OSG
- osteochondrale Läsion an Talus, Tibia oder Fibula
- Fraktur der Epiphysenfuge (inkl. Salter-Harris Typ I)
- Sonstige Frakturen (inkl. Avulsionsfrakturen)
- Läsion der Syndesmose

## **II.7 Standardbehandlungsprotokoll bei Erstvorstellung**

Patienten mit frischer OSG - Distorsion, die bei Erstvorstellung die Kriterien der OAR nicht erfüllten, bekamen in der Regel auch keine Standardröntgenaufnahmen. Diese Patienten erhielten einen elastischen Salbenverband mit der Empfehlung die Extremität zuhause hoch zu lagern und zu kühlen. Bei diesen Patienten wurde keine Wiedervorstellung in unserer Ambulanz vereinbart. Sie wurden somit nicht in unsere Studie inkludiert.

Bei Patienten, welche nach einem frischen Distorsionstrauma des OSG die Kriterien der OAR erfüllten, wurde konsekutiv eine Standardröntgenaufnahme in zwei Ebenen angefertigt. Zeigte sich bereits hier eine Fraktur, so erfolgte die Immobilisierung der Fraktur im Cast nach ggf. vorheriger Reposition. Auch diese Patienten wurden damit von unserer Studie exkludiert.

Bestand nach dem Röntgen kein Frakturverdacht so gingen wir von einer Bandläsion aus welche nach folgendem Therapieregime behandelt wurde:

Zunächst erfolgte eine ca. einwöchige Ruhigstellung des Sprunggelenkes im Cast oder Softcast mit entsprechender Entlastung an Unterarmgehstützen. Zu Hause sollte die betroffene Extremität gekühlt und hochgelagert werden. Bei Patienten die die Kriterien für eine Thromboseprophylaxe erfüllten (z. B. Alter > 12 Jahre) <sup>74</sup>, wurde eine subcutane Therapie mit niedermolekularen Heparinen (NMH) bis zur Aufhebung der Immobilisierung durchgeführt.

Bei diesen Patienten wurde eine klinische Verlaufskontrolle nach ca. einer Woche angeschlossen. Dabei wurde das betroffene Gelenk erneut unter dem Aspekt der OAR beurteilt.

Im Falle einer Befundbesserung wurde langsam mit der frühfunktionellen Nachbehandlung in der Aircast®-Schiene oder im elastischen Verband für weitere 3 - 4 Wochen begonnen. Im Falle unveränderter klinischer Symptome wurde die Ruhigstellung im Cast verlängert und eine MRT initiiert.

## **II.8 Behandlungsprotokoll der MRT-Befunde**

Bei Nachweis eines ausgedehnten Bone bruises wurde das betroffene Sprunggelenk für insgesamt 6 Wochen ruhiggestellt. Zudem erfolgte eine entsprechende Entlastung an UAGST.

Osteochondrale Läsionen wurden ebenfalls für 6 Wochen immobilisiert und entlastet.

Bei Verdacht auf eine Epiphysenfugenfraktur wurde das Sprunggelenk im zirkulären Hardcast für weitere 3 - 4 Wochen ruhiggestellt und an UAGST entlastet.

Bei Seitenbandläsionen machte unser Therapieregime keine Unterscheidung zwischen milden (Grad 1) und schwereren Läsionen (Grad 2 u. 3). Sie wurden nach der initialen Ruhigstellung gemäß den aktuellen Leitlinien zur weiteren Ausheilung je nach klinischem Beschwerdebild im elastischen Salbenverband oder der Aircast®-Schiene für weitere 3 - 4 Wochen ausbehandelt <sup>75</sup>.

## **II.9 Änderung des Therapieregimes durch die MRT**

Bei der Erstkonsultation wurde anhand der klinischen Befunde und der konventionellen Röntgenaufnahmen ein entsprechendes Therapieregime festgelegt. In den meisten Fällen war dies bei unauffälligem Standardröntgen das Protokoll der Seitenbandläsion mit frühfunktioneller Nachbehandlung nach initialer einwöchiger Ruhigstellung.

Führten die Befunde der MRT zu einer Änderung des initial vorgesehenen Therapieregimes, so wurde der Befund als klinisch relevant eingestuft.

Wurden in der MRT Befunde erhoben welche im Standardröntgen nicht zu sehen waren, die aber keine Änderung der Therapie zur Folge hatten, wie z. B. eine weitere Seitenbandläsion, so wurde dieser Befund als klinisch nicht relevant angesehen.

## **II.10 Datenerfassung**

Die Daten der Patienten wurden aus dem Karteikartenarchiv der Kinderchirurgischen Ambulanz, dem zentralen Klinikarchiv sowie der Klinikdatenbank gesammelt. Für die Frakturklassifikation konnten die Röntgenbilder im Röntgenarchiv eingesehen werden.

Nach Genehmigung durch den Datenschutzbeauftragten wurden die Patienten im Zeitraum vom 03.08.2009 bis 10.11.2009 zu einer Nachuntersuchung in die Ambulanz des Dr. von Haunerschen Kinderspitals in München einbestellt. Die Nachuntersuchung bestand aus einem Frageteil und einer klinischen Untersuchung. Dazu verwendeten wir einen von uns entworfenen standardisierten Frage- und Dokumentationsbogen (Anhang). Alle Patienten wurden von derselben Person befragt und untersucht.

Zuerst befragten wir die Kinder (bzw. deren Eltern) und Jugendlichen zu ihrer Traumahistorie am Sprunggelenk. Danach sollten sie Angaben über die Therapie in unserem Hause und eventuellen auswärtigen Therapien machen. Abschließend fragten wir nach noch bestehenden Beschwerden und wie lange es dauerte, bis die uneingeschränkte Funktion des Sprunggelenks wiederhergestellt war.

In Analogie zu Takao et al.<sup>11</sup> definierten wir verbleibende Beschwerden nach einer Sprunggelenksdistorsion wie folgt: jegliche persistierende Schmerzen im Bereich des Sprunggelenks, giving way, funktionelle Instabilität und/oder Schwellung mindestens 8 Wochen posttraumatisch. Der Fragebogen ist im Anhang aufgeführt.

Die klinische Untersuchung erfolgte in der kinderchirurgischen Ambulanz des Dr. von Haunerschen Kinderspitals. Zunächst inspizierten wir das Gangbild der Patienten. Anschließend wurden mittels Zehenspitzen- und Fersengang sowie monopedalem Hüpfen latente Instabilitäten und Schmerzen untersucht. Die körperliche Untersuchung sollte noch vorhandene Druckschmerzen im Bereich der Malleoli, der Syndesmose, der Seitenbänder sowie des Mittelfußes aufzeigen. Abschließend erfolgte die Messung des Bewegungsumfanges nach der Neutral-Null-Methode im Vergleich zur gesunden Gegenseite.

Bei den Patienten, die nicht zur klinischen Nachuntersuchung erschienen waren, versuchten wir durch ein telefonisches Interview an Informationen zu gelangen. Auf den Fragenteil des Follow-up's konnte somit eingegangen werden, allein auf die klinische Untersuchung mussten wir bei diesen Patienten verzichten.

## **II.11 Statistische Methoden**

Die statistischen Analysen erfolgten mit dem Statistikprogramm SPSS Statistics, Version 18 (IBM, Armonk, USA). Bei Nominaldaten verwendeten wir den Chi<sup>2</sup>-Test, bei metrischen Daten den Mann-Whitney-U-Test. Das Signifikanzniveau wurde wie üblich mit  $p = 0,05$  festgelegt.

Die deskriptiven Daten wurden mit dem Tabellenkalkulationsprogramm OpenOffice Calc (Apache Software Foundation, Forest Hill, USA) erfasst und mittels absoluter und relativer Häufigkeit sowie Mittelwert dargestellt.

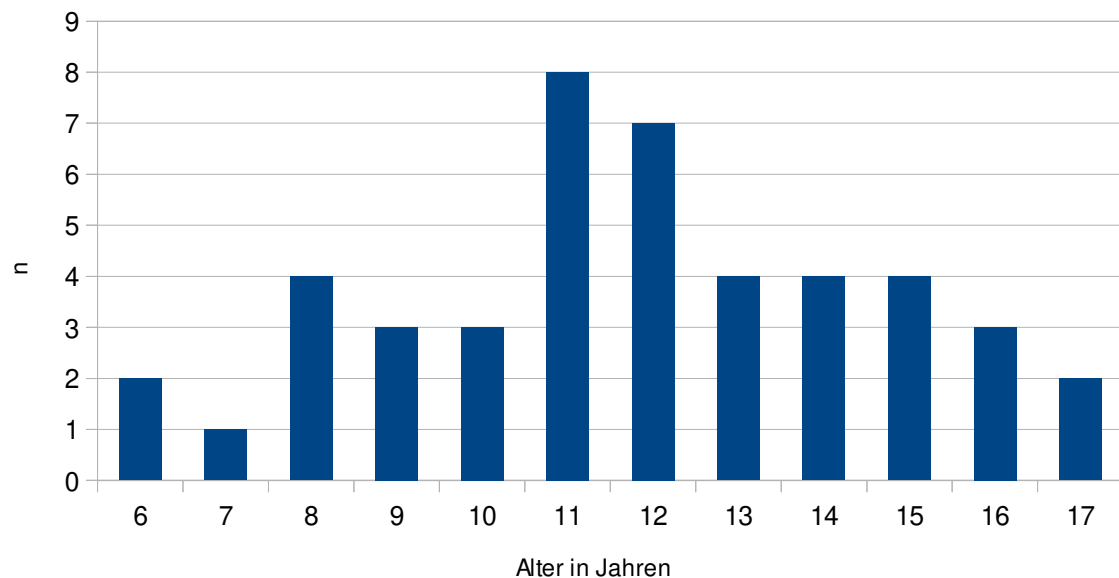


### III. Ergebnisse

#### III.1 Patienten

Insgesamt wurden die Daten von 53 Kindern und Jugendlichen ausgewertet. Davon waren 32 (60%) weiblich und 21 (40%) männlich.

Zum Unfallzeitpunkt war der jüngste Patient 6 Jahre und 1 Monat alt, der älteste 17 Jahre und 8 Monate (Diag. 1). Das Durchschnittsalter zum Unfallzeitpunkt lag bei 12,4 Jahren.



*Diagramm 1: Altersverteilung zum Unfallzeitpunkt*

Bezüglich der Seite der Verletzung konnten wir eine Dominanz der rechten Extremität feststellen. Bei 31 (58%) Kindern und Jugendlichen war die Sprunggelenksdistorsion rechts, bei 20 (38%) links und bei 2 (4%) beidseitig.

Die beiden beidseitigen OSG-Distorsionen ereigneten sich infolge eines Sprunges aus der Höhe.

Die von uns ermittelten BMI-Werte lagen zwischen 14 und 26, der Durchschnitts-BMI betrug 19. Zum Unfallzeitpunkt hatten 32 (60%) Kinder und Jugendliche Normalgewicht, 4 (8%) waren übergewichtig und 3 (6%) waren stark übergewichtig. Insgesamt hatten somit 7 Patienten (14%) Übergewicht. Von 14 Patienten (26%) lagen keine Daten zum Körpergewicht vor (Diag. 2).

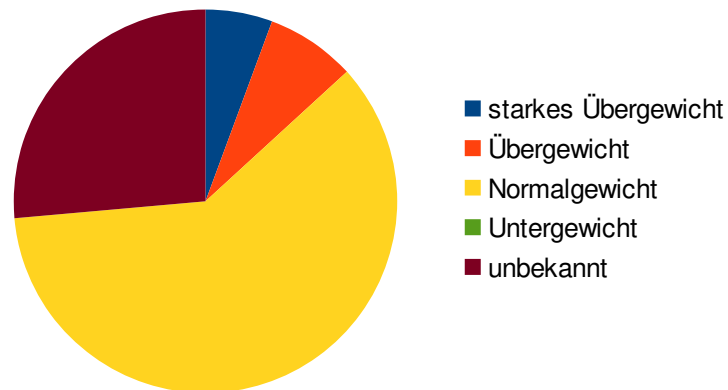


Diagramm 2: Körpergewicht zum Unfallzeitpunkt

## III.2 Unfallort

4 Kinder (8%) zogen sich die Verletzung zu Hause zu, 27 Kinder (51%) verletzten sich bei Freizeitbeschäftigungen außerhalb des Hauses und 14 Kinder (26%) in der Schule. Bei 8 Kindern (15%) wurden keine Angaben zum Unfallort gemacht (Diag. 3).

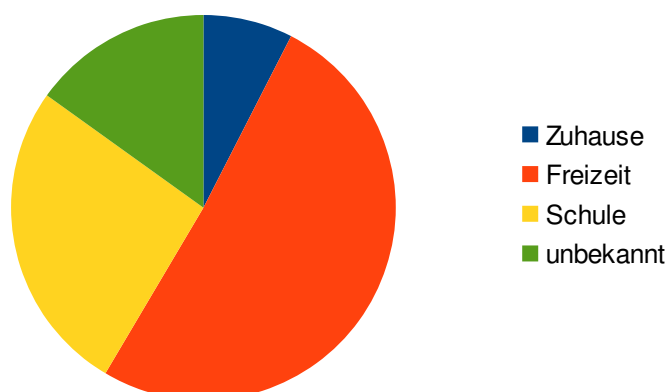


Diagramm 3: Unfallort

### III.3 Unfallursachen

Die häufigste Unfallursache war ein Sprung aus der Höhe. Hierbei verletzten sich 16 (30%) Kinder und Jugendliche, gefolgt vom Laufen (21%). Beim Ausüben von Ballsportarten verletzten sich 7 Patienten (13%). Eine Patientin (2%) zog sich die Sprunggelenksdistorsion beim Skifahren zu. Bei 12 Patienten (23%) hatten wir keine Angaben zur Unfallursache (Diag. 4).

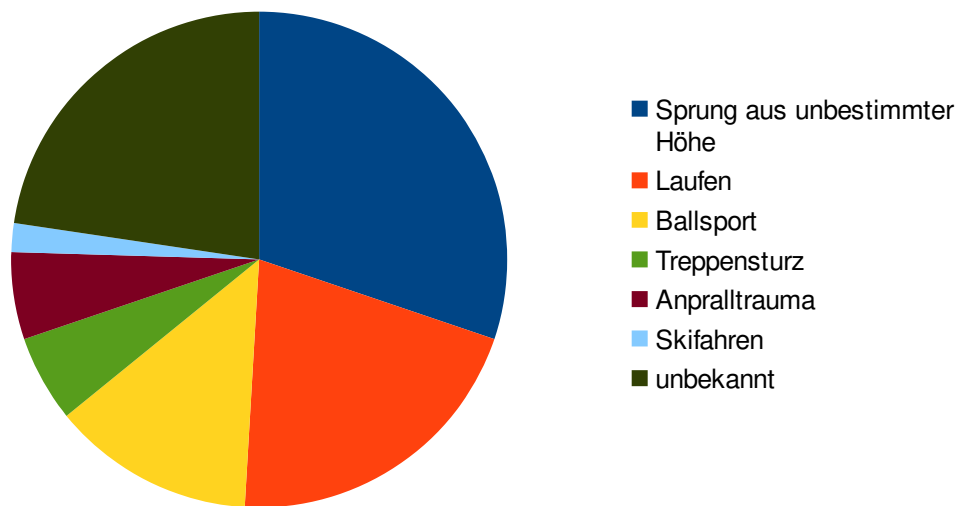


Diagramm 4: Unfallursachen

#### III.3.1 Einfluss des Übergewichtes

Anhand der ermittelten BMI Werte untersuchten wir, ob übergewichtige Patienten häufiger verletzt waren als normalgewichtige. Unter den insgesamt 7 übergewichtigen Patienten waren 3 stark übergewichtig. Diese stark übergewichtigen Patienten hatten folgende Pathologien:

Eine stark übergewichtige Patientin hatte in der MRT eine OD im Stadium 2 an der distalen tibialen Gelenkfläche. Ansonsten konnten bei ihr keine weiteren Pathologien festgestellt werden. Die beiden übrigen stark übergewichtigen Patienten zeigten bis auf eine Distorsion des LFTA keine weiteren Pathologien.

Bezüglich der Verletzungshäufigkeit konnten wir bei den 7 übergewichtigen Patienten keinen signifikanten Unterschied feststellen. Sie hatten weder häufiger Frakturen ( $p = 0,59$ ), noch BB ( $p = 0,24$ ), noch OCL ( $p = 0,14$ ) oder Bandläsionen ( $p = 0,24$ ).

### III.4 Ruhigstellungsdauer

Die durchschnittliche Dauer der Ruhigstellung betrug 5 Wochen, die kürzeste Ruhigstellung dauerte 1 Woche, die längste 11 Wochen. Zur besseren Veranschaulichung teilten wir die Ruhigstellungsdauer in drei Gruppen ein: 1 bis 3 Wochen, 4 bis 6 Wochen sowie über 6 Wochen (Diag. 5).

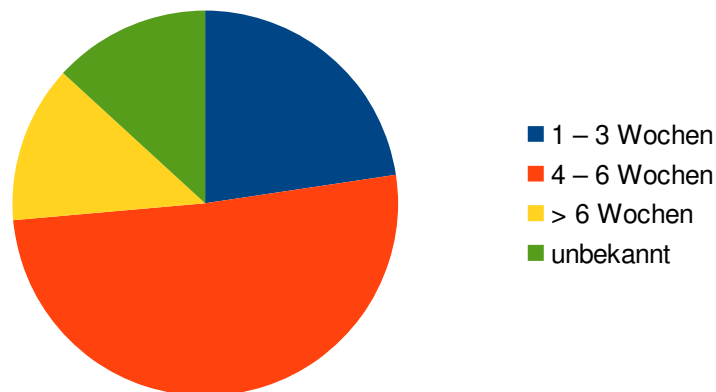


Diagramm 5: Dauer der Ruhigstellung im Cast und/oder Aircast®

### III.5 Ottawa Ankle Rules

Bei 52 der 53 Patienten wurde die initiale Untersuchung nach den Kriterien der OAR durchgeführt. Hierbei waren die OAR bei 43 Patienten (81%) positiv im Sinne einer möglichen Fraktur. Bei insgesamt 9 Patienten (17%) waren die OAR negativ. Bei einem Patienten (2%) lagen keine ausreichenden Daten vor ob die initiale Untersuchung anhand der OAR durchgeführt wurde (Diag. 6).

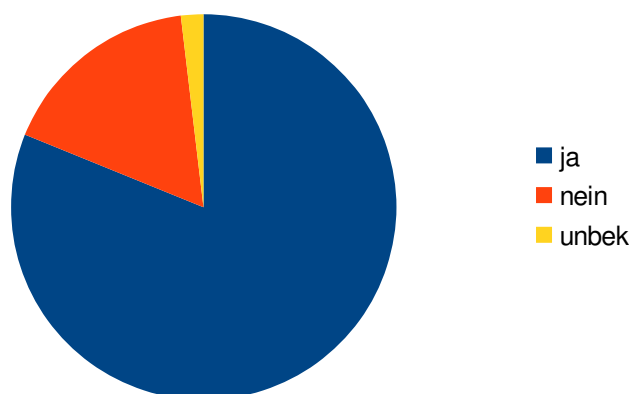


Diagramm 6: Frakturdiagnose anhand der Ottawa Ankle Rules

### III.6 Standardröntgenbefunde

Gemäß unseren Einschlusskriterien wurde bei keinem unserer Patienten im initialen Standardröntgen eine Fraktur diagnostiziert. Bei manchen Patienten wurden lediglich nicht therapierelevante Weichteilbefunde wie z. B. Schwellungen diagnostiziert. Massive Schwellungen über den Malleoli wurden teilweise als Hinweis für eine schwere Kollateralbandläsion interpretiert.

### III.7 MRT - Befunde

#### III.7.1 Bandläsionen

Bei 36 Kindern und Jugendlichen (68%) wurde eine Läsion des lateralen bzw. medialen Bandapparates festgestellt (Diag. 7).

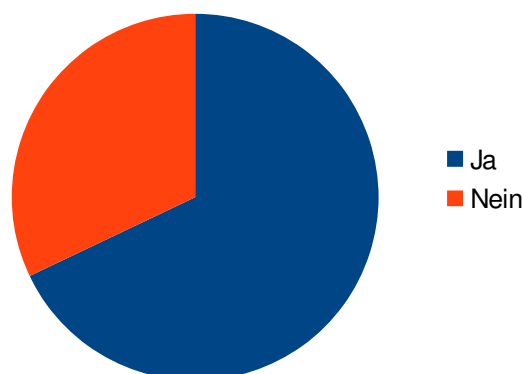
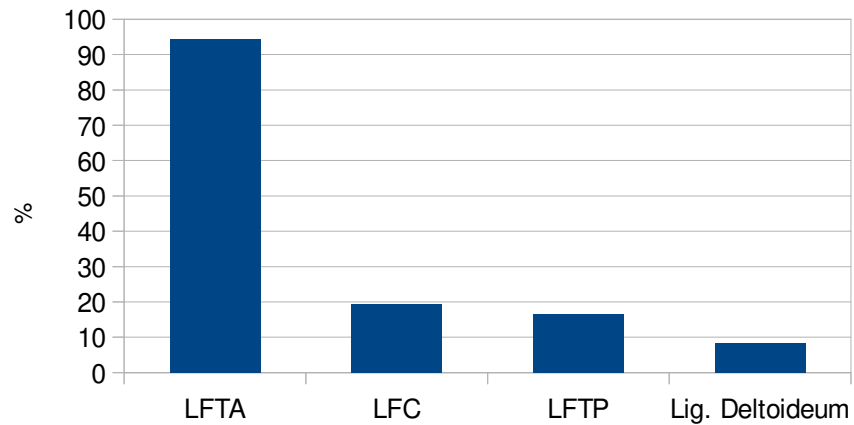


Diagramm 7: Diagnose einer Bandläsion in der MRT

Mit Abstand am häufigsten betroffen war das LFTA ( $n = 34$ ; 94%), davon in 23 Fällen (64%) als isolierte Läsion ohne Mitbeteiligung eines weiteren Ligaments. Das LFC war in 7 Fällen (19%) betroffen, das LFTP in 6 Fällen (17%). In keinem der Fälle lag eine isolierte Läsion des LFC oder LFTP vor, es war zugleich immer das LFTA mitbetroffen. In 10 Fällen (28%) waren zwei und mehr der lateralen Kollateralbänder betroffen (Diag. 8).

Eine Verletzung des medialen Lig. deltoideum zeigte sich bei 3 Kindern und Jugendlichen (8%).

Bei keinem Patienten wurde eine Syndesmosenverletzung diagnostiziert.

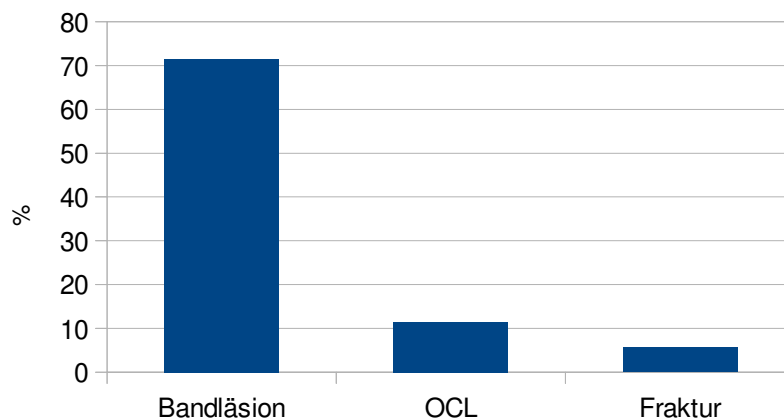


*Diagramm 8: Betroffene Kollateralbänder im Falle einer in der MRT diagnostizierten Kollateralbandläsion, Mehrfachnennungen möglich.*

### III.7.2 Gelenkerguss

Einen Gelenkerguss im Bereich des OSG konnten wir bei 35 Kindern und Jugendlichen (66%) in der MRT feststellen.

Wurde ein Gelenkerguss diagnostiziert, so lag in 25 Fällen (71%) zugleich eine Bandläsion, in 4 Fällen (11%) eine osteochondralen Läsion und in 2 Fällen (6%) eine Fraktur vor (Diag. 9).



*Diagramm 9: Begleitpathologien im Falle eines in der MRT diagnostizierten Gelenkergusses im OSG*

### III.7.3 Bone bruise

Bei 33 Kindern und Jugendlichen (62 %) zeigte sich in der MRT ein Bone bruise an einem oder mehreren Knochen (Diag. 10).

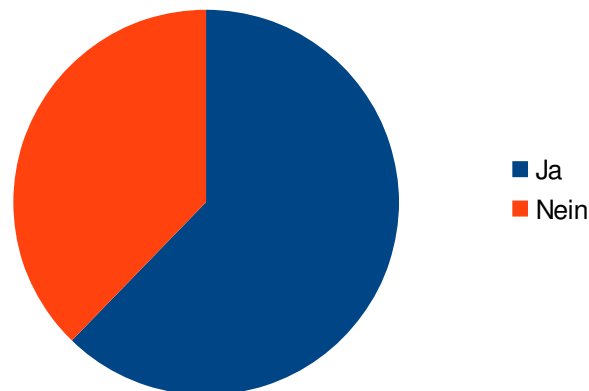


Diagramm 10: Diagnose eines Bone bruise in der MRT

Von diesen zeigte sich bei 8 Patienten (24%) zeigte sich ein ausgedehnter Bone bruise mit flächiger Ausbreitung an mindestens 2 Knochen des OSG. Bei 14 Patienten (42%) zeigte sich ein moderater Bone bruise und bei 11 Kindern und Jugendlichen (33%) zeigte sich ein lediglich isolierter Bone bruise an einem der Knochen des OSG (Diag. 11).

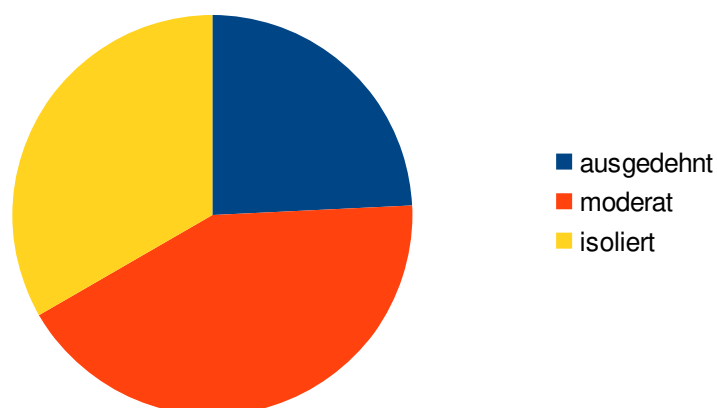


Diagramm 11: Schweregrade des Bone bruise in der MRT

22 Patienten (67%) mit Bone bruise hatten eine mediale oder laterale Seitenbandverletzung am OSG. 6 Patienten (18%) hatten zugleich eine Fraktur, 3 Patienten (9%) hatten zugleich eine OCL und 22 Patienten (67%) hatten zum vorhandenen BB noch einen Erguss (Diag. 12).

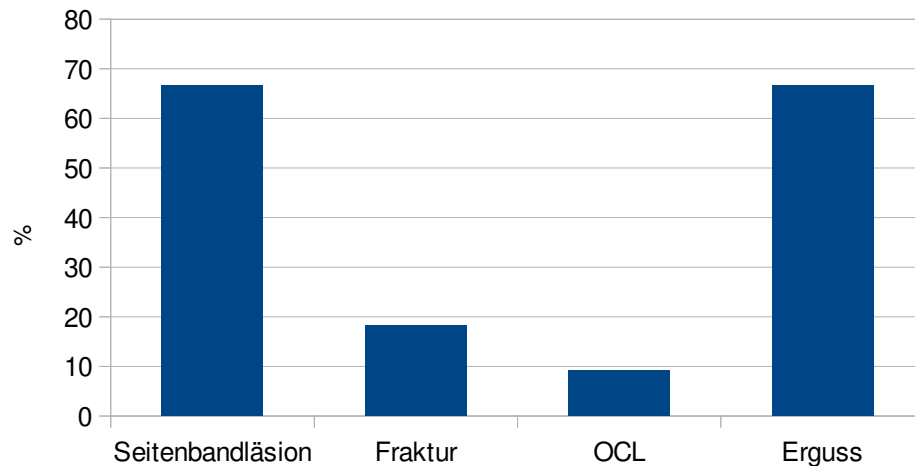


Diagramm 12: Begleitpathologien im Falle eines diagnostizierten Bone bruise

### III.7.4 Osteochondrale Läsionen

Bei 6 Patienten (11%; 4 Mädchen, 2 Jungen) ließen sich mit der MRT osteochondrale Läsionen nachweisen (Diag. 13).

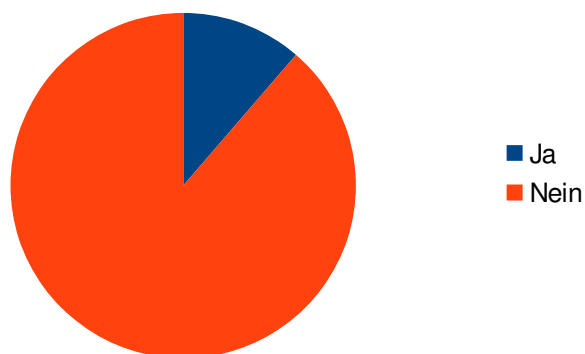


Diagramm 13: Anteil der Patienten, bei denen in der MRT eine OCL nachgewiesen wurde

Es fanden sich jeweils 4 Läsionen an der medialen und 4 Läsionen an der lateralen Talusschulter (Diag. 14). Bei zwei Patienten (33%) zeigten sich jeweils zwei OCL (Grad 4 lat. Talus, Grad 1 med. Talus sowie Grad 1 med Talus, Grad 1 lat. Talus). Eine Patientin (17%) hatte eine isolierte OCL zweiten Grades an der konkaven tibialen Gelenkfläche. Am Talus zeigte sie keine Auffälligkeiten. Anamnestisch hatte sie bereits ein vorangegangenes Inversionstrauma und war zudem stark übergewichtig.



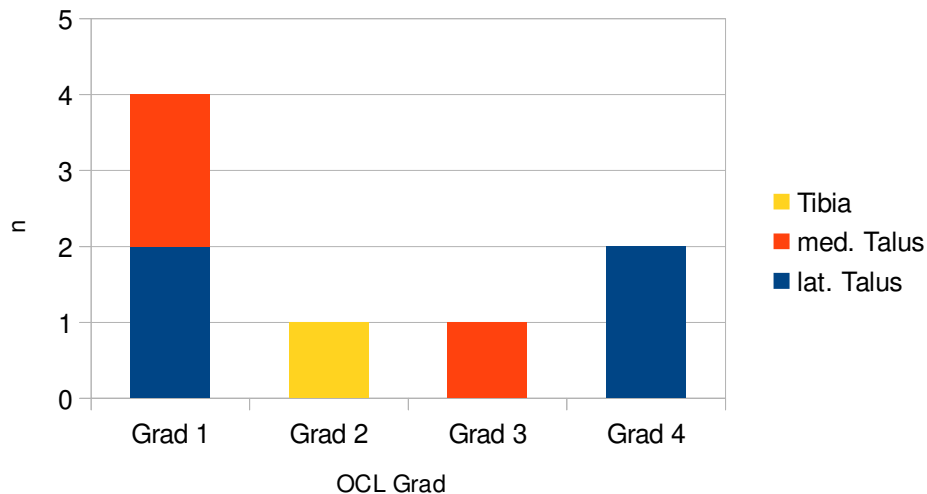


Diagramm 14: Verteilungsmuster und Gradeinteilung bei Nachweis einer OCL in der MRT

Von den insgesamt 6 Kindern und Jugendlichen (11%) mit einer OCL konnten wir bei 5 (83%) zugleich eine Seitenbandverletzung am Sprunggelenk feststellen, bei 3 (50%) zeigte sich zugleich ein Bone bruise und bei 4 (67%) ein Gelenkerguss im OSG. Ein Patient (17%) hatte zusätzlich eine Weber A Fraktur.

### III.7.5 Frakturen

In der MRT ließ sich bei insgesamt 6 Patienten (11%) eine Fraktur im Bereich des oberen Sprunggelenkes nachweisen (Diag. 15).

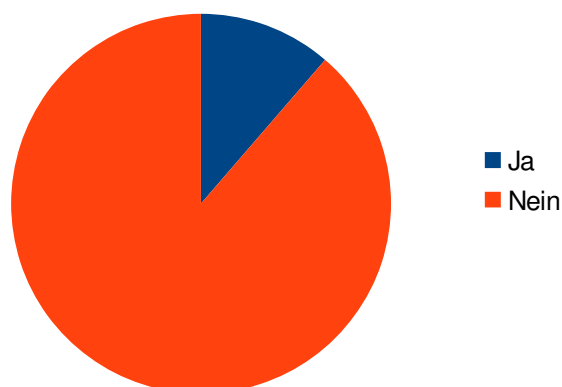


Diagramm 15: Anteil der Patienten, bei denen eine Fraktur in der MRT nachgewiesen wurde

Von diesen hatten drei Patienten (50%) eine SH-1-Fraktur (jeweils distale Fibula), ein Patient (17%) eine SH-2-Fraktur an der distalen Tibia, ein Patient (17%) eine SH-3-Fraktur an der distalen Tibia und eine Patientin (17%) eine Weber A Fraktur (Diag. 16).



*Diagramm 16: in der MRT nachgewiesene Frakturen*

### III.7.6 Vergleich OAR, Röntgen und MRT

Bei allen Patienten die in der MRT eine Fraktur hatten, waren die OAR positiv. Ebenso konnte bei allen Patienten bei denen die OAR negativ waren, eine Fraktur in der MRT ausgeschlossen werden. Die OAR erzielten damit bei den hier mittels MRT untersuchten Patienten eine Sensitivität von 100%. Bei 37 Kindern und Jugendlichen (70%) waren die OAR falsch positiv, der Frakturverdacht konnte in der MRT nicht bestätigt werden. Daraus ergab sich eine Spezifität von 17%.

Wir bildeten zudem zwei Altersgruppen (6 - 14 Jahre / 15 – 17 Jahre) um zu sehen, ob sich bezüglich Sensitivität und Spezifität Altersunterschiede ergaben. Hierbei konnten wir weder bei der Sensitivität noch bei der Spezifität signifikante Unterschiede feststellen (Tab. 5).

	6-14 Jahre	15-17 Jahre	Alle
n	40	12	52
Sensitivität	100%	100%	100%
Spezifität	18%	17%	17%

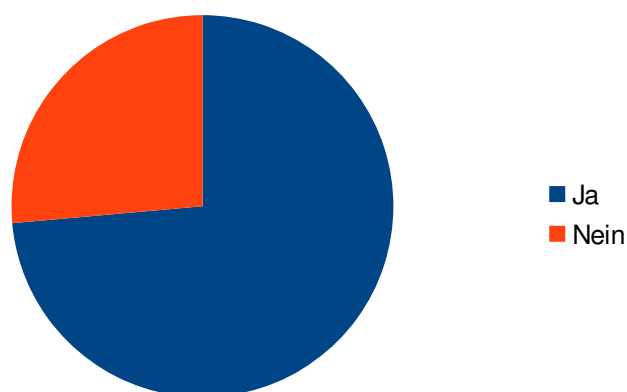
*Tabelle 5: Sensitivität und Spezifität der OAR in Abhängigkeit vom Patientenalter*

Bei keinem Patienten wurde im initialen Standardröntgen eine Fraktur diagnostiziert. Es zeigten sich teils lediglich therapeutisch irrelevante Weichteilbefunde.

Bei 6 Kindern und Jugendlichen (11%) zeigten sich in der MRT Frakturen, die selbst mit Kenntnis der MRT-Befunde im Standardröntgen nicht nachweisbar waren. Darunter waren drei SH 1 Frakturen der distalen Fibula, eine SH 2 Fraktur der distalen Tibia, eine SH 3 Fraktur der distalen Tibia sowie eine Weber A Fraktur.

Bei 6 Patienten (11%) konnten wir in der MRT 8 osteochondrale Läsionen feststellen. Keine dieser Läsionen war im Standardröntgen nachgewiesen worden. Die eindeutige Diagnose mit Stadieneinteilung der Läsion gelang erst durch die MRT.

Insgesamt ergab sich durch die MRT in 74% der Fälle eine Änderung der Hauptdiagnose „OSG-Distorsion“ oder Ergänzung um Begleitpathologien wie z.B. Kollateralbandläsionen (Diag. 17).

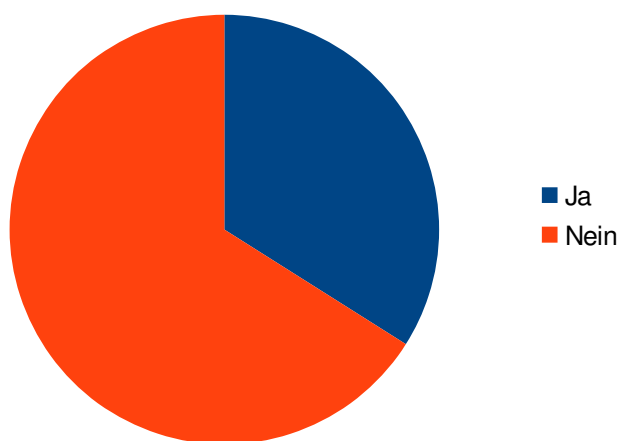


*Diagramm 17: Änderung der Diagnose durch die Zusatzinformation der MRT*

Bone bruises wurden nur dann im Sinne einer Diagnoseänderung gewertet, wenn sie ausgedehnt waren und damit zugleich unserer Definition einer therapielevanten Läsion entsprachen. Andererseits werteten wir auch in der MRT diagnostizierte Kollateralbandläsionen wie z.B. eine LFTA-Läsion als Diagnoseänderung da diese Information eine Ergänzung zur Diagnose „OSG-Distorsion“ darstellte.

### III.8 Therapeutische Relevanz der MRT-Befunde

Bei 18 Patienten (34%) führten die Befunde der MRT zu einer Änderung des primär vorgesehenen Therapieregimes (Diag. 18).



*Diagramm 18: Änderung des Therapieregimes durch den Einsatz der MRT*

Bei diesen Befunden handelte es sich z. B. um neu diagnostizierte Frakturen, OCL oder ausgeprägte Bone bruises (Abb. 6 - 9). Diese Befunde führten immer zu einer neu verordneten Ruhigstellung oder Verlängerung einer bereits begonnenen Ruhigstellung. Bei keinem unserer Patienten war eine operative Therapie nötig. Bei den Patienten mit diagnostizierter osteochondraler Läsion wurden neben der mehrwöchigen Ruhigstellung regelmäßige Nachkontrollen vereinbart.

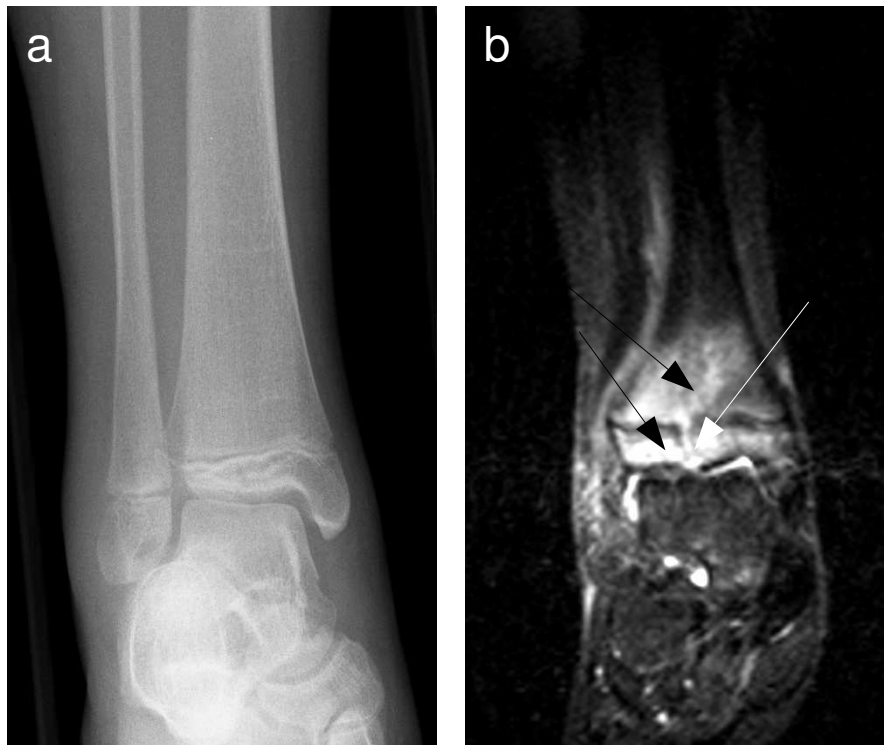


Abbildung 6: 12-jähriges Mädchen nach Inversionstrauma beim Skifahren. Im konventionellen Röntgen **(a)** kein Frakturnachweis, in der MRT (STIR-Sequenz) **(b)** dagegen deutlich zu erkennende SH-3-Fraktur der distalen Tibia (weißer Pfeil). Darüber hinaus ausgeprägter Bone bruise sowohl der Meta- als auch Epiphyse (schwarze Pfeile)

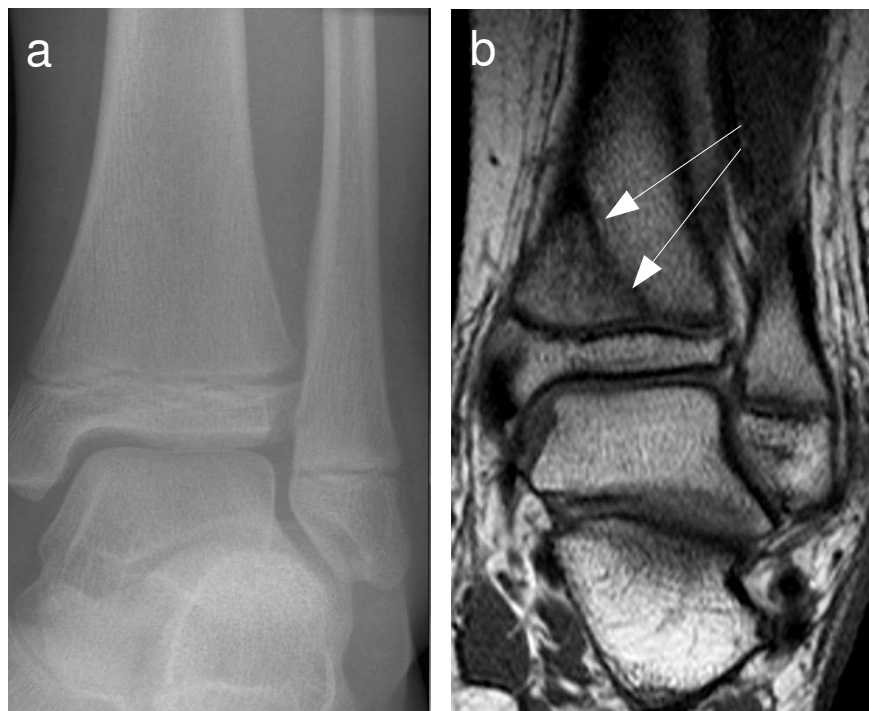


Abbildung 7: 11-jähriges Mädchen nach Inversionstrauma. In der konventionellen Röntgenaufnahme **(a)** zeigen sich keine Auffälligkeiten, in der T1-gewichteten MRT **(b)** zeigt sich dagegen deutlich eine SH-2-Fraktur der distalen Tibia (weiße Pfeile)

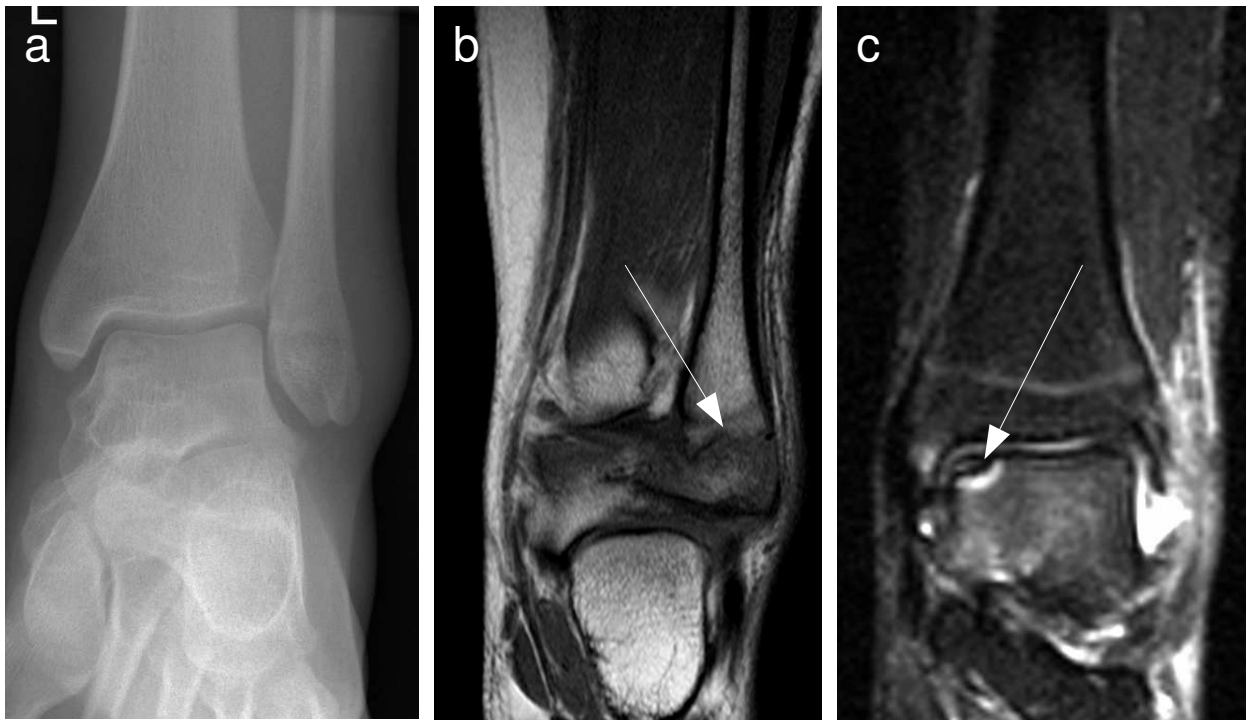


Abbildung 8: 13-jähriges Mädchen nach Inversionstrauma des linken Sprunggelenks. Anhand des konventionellen Röntgenbildes **(a)** wurde aufgrund der Schwellung über dem Mall. lat. lediglich der Verdacht einer schweren Seitenbanddistorsion geäußert, in der MRT **(b, c)** zeigte sich dagegen eine Weber A Fraktur sowie eine OCL am medialen Talus (weiße Pfeile), retrospektiv lässt sich die OCL am medialen Talus erahnen.



Abbildung 9: 17-jährige Patientin mit Z.n. Supinationstrauma beim Ballsport. In Standardröntgen **(a)** keine Auffälligkeiten, in der T1-Sequenz **(b)** Hypointensität des lateralen Talus (weißer Pfeil), korrelierend in der PD-FatSat-Sequenz **(c)** Hyperintensität im selben Bereich, somit als frische traumatische OCL (Grad I) zu werten

Im Einzelnen führte der Einsatz der MRT zu folgenden Therapieänderungen (Tab. 6):

Bei 6 Patienten (11%) wurde eine Fraktur in der MRT erstdiagnostiziert. Hier wurde die Immobilisierung dann für insgesamt 6 Wochen im Cast durchgeführt und die Extremität an Unterarmgehstützen entlastet.

Bei allen 6 Patienten (11%) mit osteochondralen Läsionen wurden diese erst in der MRT entdeckt. Einer dieser Patienten (2%) hatte jedoch zusätzlich eine Weber A Fraktur, weshalb sich durch die OCL keine Änderung der Therapie ergab. Bei den restlichen 5 Patienten (9%) wurde die Therapie mittels Entlastung an Unterarmgehstützen und Immobilisierung im Hardcast für insgesamt 6 Wochen ausgeweitet.

Auch ein ausgedehnter Bone bruise führte zu einer Ausweitung der Therapie. Das Sprunggelenk der betroffenen 8 Patienten (15%) wurde nach dem gleichen Schema wie bei einer osteochondralen Läsion behandelt.

Pat-Nr.	Befund Röntgen	Hauptbefund MRT	Therapieänderung
1	keine Fraktur	ausgedehnter BB	Ausweitung
2	keine Fraktur	ausgedehnter BB	Ausweitung
9	keine Fraktur	SH 1 Fraktur Fibula	Ausweitung
13	keine Fraktur	SH 2 Fraktur Tibia	Ausweitung
17	keine Fraktur	SH 1 Fraktur Fibula	Ausweitung
19	keine Fraktur	OCL Grad I Talus	Ausweitung
25	keine Fraktur	OCL Grad 4 Talus	Ausweitung
26	keine Fraktur	ausgedehnter BB	Ausweitung
28	keine Fraktur	ausgedehnter BB	Ausweitung
30	keine Fraktur	OCL Grad 2 Tibia	Ausweitung
31	keine Fraktur	OCL Grad 1 Talus	Ausweitung
32	keine Fraktur	Weber A Fraktur	Ausweitung
35	keine Fraktur	ausgedehnter BB	Ausweitung
36	keine Fraktur	SH 3 Fraktur Tibia	Ausweitung
37	keine Fraktur	ausgedehnter BB	Ausweitung
39	keine Fraktur	OCL Grad 4 Talus	Ausweitung
40	keine Fraktur	ausgedehnter BB	Ausweitung
53	keine Fraktur	SH 1 Fraktur Fibula	Ausweitung

*Tabelle 6: Vergleich Röntgen - MRT mit den Hauptbefunden, welche zu einer Therapieänderung führten*



### III.9 Nachuntersuchung

Von den 53 in unsere Studie inkludierten Patienten erschienen 26 (49%) zur klinischen Nachuntersuchung. 11 Patienten (21%) konnten wir telefonisch befragen und 16 Patienten (30%) wollten entweder keine Angaben machen oder waren nicht erreichbar. Somit hatten wir Daten von 37 Befragungen (70%) und 26 körperlichen Nachuntersuchungen (49%) (Diag. 19).

Die nachfolgenden Berechnungen beziehen sich daher auf die Patientenzahl, von denen Nachuntersuchungsdaten vorlagen (n = 37).

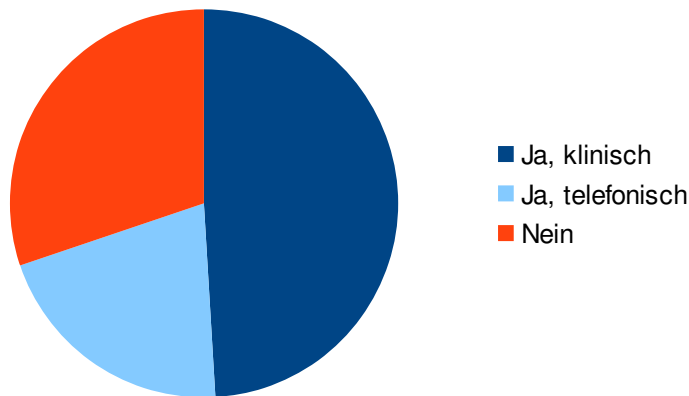


Diagramm 19: Teilnahme an der Nachuntersuchung

Bei der Nachuntersuchung war der jüngste Patient 8 Jahre und 4 Monate alt, der älteste 21 Jahre und 6 Monate. Das Durchschnittsalter der Patienten zur Nachuntersuchung betrug 16,4 Jahre.

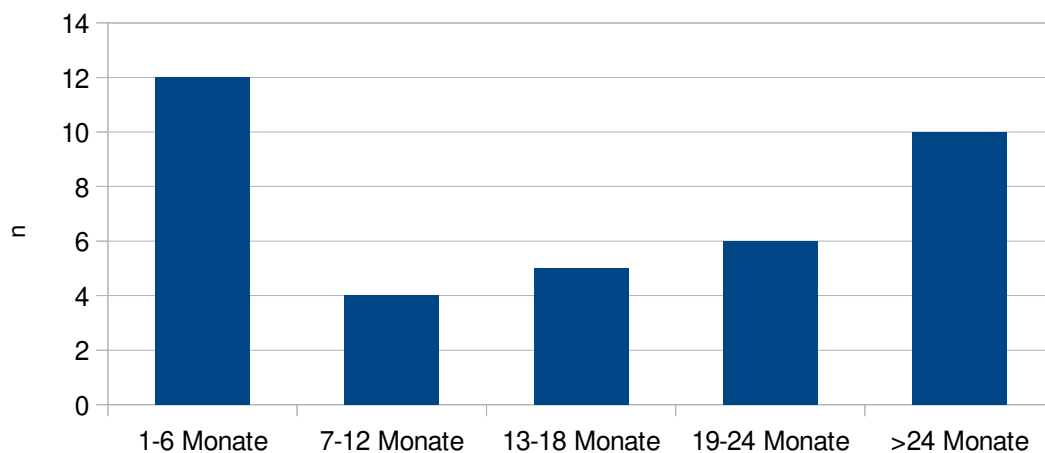
Die Patienten wurden in der Nachuntersuchung zu ihrer Traumahistorie am betreffenden OSG befragt. Hier gaben 14 Patienten (38%) an, vor dem von uns mittels MRT untersuchten Distorsionstrauma bereits ein vorangegangenes Trauma am OSG erlitten zu haben. 23 Patienten (62%) hatten vorher kein entsprechendes Distorsionstrauma.

Ferner gaben 12 Patienten (32%) an, seit dem mittels MRT untersuchten Traumaereignis erneut ein Distorsionstrauma erlitten zu haben. 25 Patienten (68%) hatten kein erneutes Traumaereignis (Tab. 7).

	vorangegangenes Trauma	kein vorangegangenes Trauma	Gesamt
erneutes Trauma	6	6	12
kein erneutes Trauma	8	17	25
Gesamt	14	23	37

*Tabelle 7: Anzahl der Patienten welche vor dem von uns mittels MRT untersuchten Distorsionstraumas bzw. danach ein weiteres Trauma erlitten hatten*

Die Nachuntersuchung erfolgte durchschnittlich 18 Monate nach dem Trauma, das kürzeste Intervall waren knapp 2 Monate, das längste 53 Monate (Diag. 20).



*Diagramm 20: Einteilung der Patienten nach dem Zeitraum zwischen Traumaereignis und Nachuntersuchung*

Wir gruppierten die Patienten anschließend in Halbjahresintervalle zwischen Traumaereignis und Zeitpunkt der Nachuntersuchung. Innerhalb dieser Gruppen untersuchten wir dann, wieviele Patienten noch Beschwerden jeglicher Art hatten (Diag. 21). Hier klagten die Patienten in der Gruppe 1 - 6 Monate mit 58% am häufigsten über noch vorhandene Beschwerden. Im Intervall zwischen 7 und 12 Monaten klagten 25% über persistierende Beschwerden, im Intervall zwischen 13 und 18 Monaten 0%. Im Intervall zwischen 19 und 24 Monaten waren hingegen wieder 50% der Patienten nicht beschwerdefrei und bei den Patienten, bei denen zwischen Trauma und Nachuntersuchung mehr als 24 Monate lagen gaben 40% anhaltende Beschwerden an. Der Zeitraum zwischen Trauma und Nachuntersuchung hatte keinen statistisch signifikanten Einfluss auf noch vorhandene Beschwerden ( $p = 0,51$ ).

Insgesamt waren zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung 21 Patienten (57%) beschwerdefrei. Dahingegen gaben noch 16 Patienten (43%) Beschwerden am betreffenden Sprunggelenk an (Diag. 21).

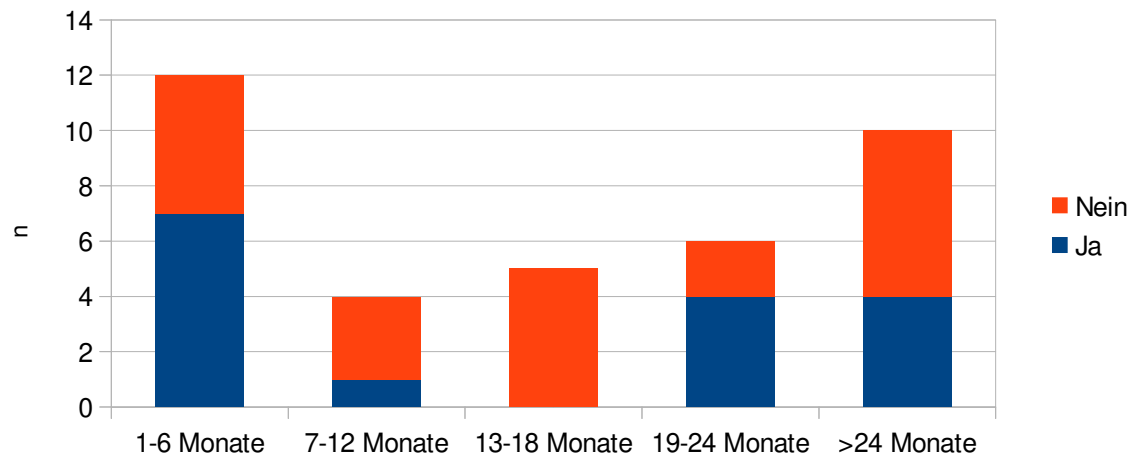


Diagramm 21: Zeitraum zwischen Unfall und Nachuntersuchung mit Anteil der Patienten, die bei der Nachuntersuchung noch über Beschwerden klagten (Ja = noch Beschwerden, Nein = keine Beschwerden)

Alle dieser 16 Patienten (43%) mit persistierenden Beschwerden hatten Schmerzen in bestimmten Situationen. Zusätzlich berichteten drei Patienten (8%) von einer Schwellung im Bereich des OSG nach längerer Belastung. Ein Patient (3%) hatte ein Instabilitätsgefühl im OSG beim Stehen und Laufen (Diag. 22).

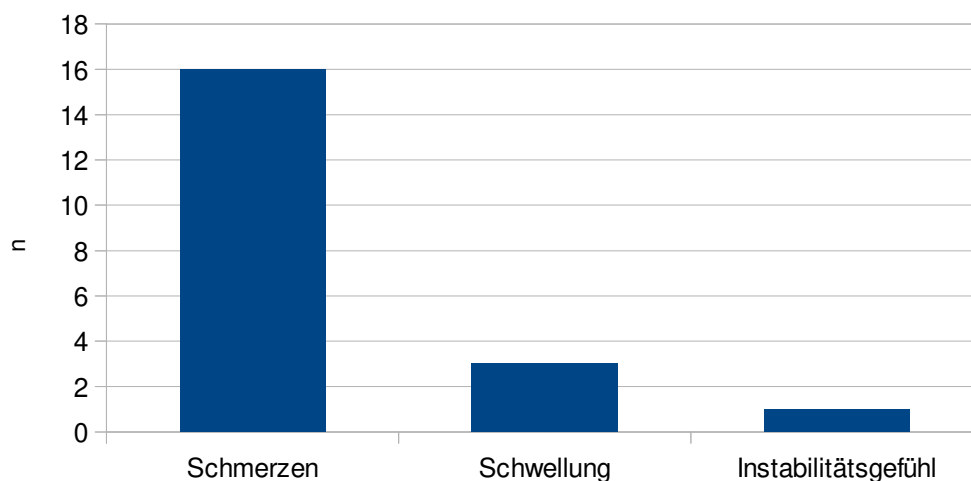


Diagramm 22: Art der Beschwerden bei der Nachuntersuchung (Mehrfachnennungen möglich)

Bei den 16 Patienten (43%), welche in der Nachuntersuchung noch über Beschwerden klagten, untersuchten wir anschließend, welche Pathologien bei ihnen im initialen MRT zu sehen waren. Hierbei hatten 3 Patienten (19%) eine Fraktur, 2 Patienten (13%) einen relevanten Bone bruise, 5 Patienten (31%) eine osteochondrale Läsion und 14 Patienten (88%) eine Bandläsion. Bei 2 Kindern und Jugendlichen (13%) war in der initialen MRT keine Pathologie festzustellen (Tab. 8).

Pat.	Fraktur	rel. BB	OCL	Bandläsion	t NU
12	Nein	Nein	Nein	LFTA	20
19	Nein	Nein	Ja	LFTA + LFC	21
20	Nein	Nein	Nein	LFTA + LFC	21
25	Nein	Nein	Ja	LFTA + LFTP + LFC	46
31	Nein	Ja	Ja	LFTA + LFC	28
32	Ja	Nein	Ja	LFTA	32
34	Nein	Nein	Nein	LFTA	5
36	Ja	Ja	Nein	LFTA + LFTP	7
39	Nein	Nein	Ja	Lig. deltoideum	53
43	Nein	Nein	Nein	LFTA	20
45	Nein	Nein	Nein	LFTA	3
46	Nein	Nein	Nein	Nein	3
47	Nein	Nein	Nein	LFTA	5
48	Nein	Nein	Nein	Nein	3
50	Nein	Nein	Nein	Lig. deltoideum	2
53	Ja	Nein	Nein	LFTA + LFTP + LFC	1
Gesamt:	Gesamt	Gesamt:	Gesamt:	Gesamt:	Ø
16	3	2	5	14	17

*Tabelle 8: Auflistung der Patienten, welche zur Nachuntersuchung noch über Beschwerden klagten und die dazugehörigen MRT-Befunde; rel. BB = relevanter Bone Bruise, OCL= Osteochondrale Läsion, t NU = Zeitraum vom Trauma bis zur Nachuntersuchung in Monaten*

Eine statistisch signifikante Korrelation mit anhaltenden Beschwerden in der Nachuntersuchung zeigte sich für OCL ( $p = 0,03$ ) und Bandläsionen ( $p = 0,05$ ). Dahingegen zeigte eine Fraktur ( $p = 0,18$ ) oder ein ausgeprägter Bone bruise ( $p = 0,72$ ) keinen signifikanten Einfluss auf anhaltende Beschwerden in der Nachuntersuchung.

### III.10 Modifiziertes Behandlungsprotokoll bei OSG-Distorsion

Anhand der in unserer Studie festgestellten Befunde sowie der Ergebnisse der Nachuntersuchung haben wir einen einfach anzuwendenden Algorithmus abgeleitet, nach welchem zukünftige OSG-Distorsionen in unserer Klinik beurteilt werden (Abb.10).

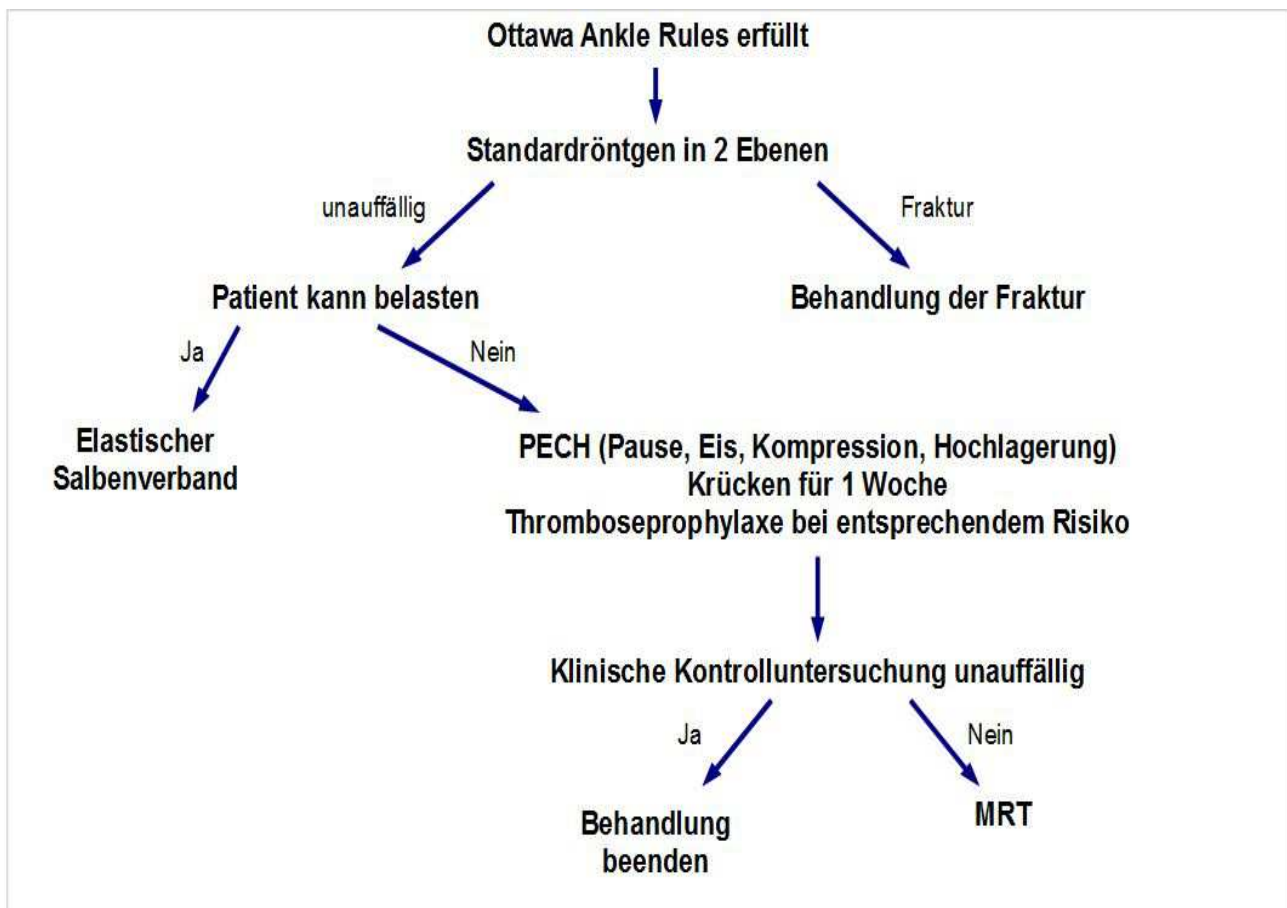


Abbildung 10: Aus den Ergebnissen dieser Studie abgeleiteter Flowchart zur Behandlung einer kindlichen OSG-Distorsion

## **IV. Diskussion**

### **IV.1 Zusammenfassung der Hauptergebnisse**

Zwischen 2004 und 2009 behandelten wir in unserer kinderchirurgischen Ambulanz 427 Patienten, welche mit akuter Sprunggelenksdistorsion vorstellig wurden. Die meisten dieser Patienten zeigten einen unkomplizierten Verlauf, bei ihnen konnte nach Frakturausschluss im Röntgen oder anhand der OAR bereits nach einwöchiger Entlastung und Immobilisierung mit der Frühmobilisation begonnen werden. Einige waren sogar bereits nach einer Woche wieder komplett beschwerdefrei.

Andererseits gab es jedoch auch Patienten, die trotz negativem initialem Standardröntgen nach einer Woche Ruhigstellung im Cast das betroffene Sprunggelenk noch nicht belasten konnten oder noch deutliche Schmerzen hatten. Bei diesen Patienten stellte sich die Frage nach im Röntgen unentdeckten Pathologien und der Notwendigkeit einer ausführlicheren Diagnostik.

In der vorliegenden retrospektiven Studie wurden daher die Daten von den 53 Kindern und Jugendlichen untersucht, welche nach vorangegangenen Distorsionstrauma des OSG einen unauffälligen Standardröntgenbefund hatten, jedoch aufgrund persistierender Beschwerden erneut vorstellig wurden und im weiteren Verlauf ein MRT des OSG erhielten.

Wir verglichen die Standardröntgenbefunde mit den MRT-Befunden und untersuchten ferner, ob es durch die MRT zu einer Änderung des Therapeutischen Regimes kam. Dies war bei 18 Patienten (34%) der Fall. Bei ihnen wurde die Therapie aufgrund des MRT-Befundes ausgeweitet.

Zudem führten wir eine Nachuntersuchung durch, an welcher 37 (70%) der in die Studie eingeschlossenen Patienten teilnahmen. Die Nachuntersuchung fand im Schnitt 18 Monate nach dem Distorsionstrauma statt. Insgesamt klagten zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung noch 16 Patienten (43%) über Beschwerden. Von diesen Patienten verglichen wir die MRT-Befunde und prüften, ob ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der initialen Pathologie und noch vorhandenen Beschwerden

bestand. Hier zeigte sich ein signifikanter Einfluss von OCL und den gemeinhin als unkompliziert geltenden Kollateralbandläsionen. Keinen signifikanten Einfluss hatte hingegen ein ausgeprägter Bone bruise oder eine Fraktur.

## **IV.2 Diskussion der Methoden**

### **IV.2.1 Definition relevanter Pathologien**

Wir stuften folgende Pathologien als relevant ein:

1. ausgedehnter Bone bruise im Bereich des OSG
2. osteochondrale Läsion an Talus, Tibia oder Fibula
3. Fraktur der Epiphysenfuge (inkl. Salter-Harris Typ I)
4. Sonstige Frakturen (inkl. Avulsionsfrakturen)

All diese Pathologien bedeuten ein Abweichen vom normalen Behandlungsschema einer OSG-Distorsion. Somit wurden einfache Bandläsionen von uns als nicht relevant eingestuft, da sie gemäß den aktuellen Richtlinien <sup>75</sup> nach der standardmäßigen einwöchigen Ruhigstellung frühfunktionell nachbehandelt werden können und daher keine Abweichung von unserem normalen Behandlungsprotokoll bedingen.

Insgesamt ist jedoch die Frage, welche Pathologien als relevant einzustufen sind und welche nicht, nur schwer zu beantworten. Dies spiegelt sich auch in diversen Studien wider. Manche Autoren sehen in Avulsionsfrakturen mit Knochenfragmenten < 3 mm Größe und SH Typ 1 Frakturen klinisch insignifikante Frakturen, welche keiner dedizierten Behandlung bedürfen <sup>56</sup>. Andere wiederum bewerten alle Frakturen, also auch die Avulsionsfrakturen und SH 1 Frakturen wegen der Möglichkeit posttraumatischer Komplikationen als klinisch signifikant <sup>19,48</sup>. In der von Dowling et al. <sup>72</sup> durchgeführten Metaanalyse von 12 Studien zur Genauigkeit der OAR bei Kindern wurden SH 1 Frakturen in einer Studie als nicht signifikante Frakturen definiert, in zwei Studien explizit nicht erwähnt und in den anderen neun Studien als signifikante Frakturen eingeschlossen.

In unserer Studie stuften wir SH 1 Frakturen ebenfalls als relevant ein, da sie - im Gegensatz zu einer Bandläsion, bei der die Frühmobilisation im Vordergrund steht, für 4 - 6 Wochen immobilisiert werden und bei diesem Frakturtyp das Risiko einer

posttraumatischen Wachstumsstörung gegeben ist <sup>16,40</sup>.

Die klinische Relevanz osteochondraler Läsionen dürfte unstrittig sein da es sich hierbei in der Regel immer um eine behandlungsbedürftige Pathologie handelt <sup>15,65,66</sup>. Die Behandlungsstrategie reicht hier von einer Ruhigstellung bis zur operativen Intervention und stellt somit ein Abweichen vom Behandlungsschema einer Kollateralbandläsion ab.

Im Gegensatz zu vielen anderen Studien sehen wir auch in einem ausgeprägten Bone bruise eine relevante, behandlungsbedürftige Pathologie. Allgemein besteht über die klinische Relevanz des Bone bruise Uneinigkeit. Manche Autoren postulieren, dass ein Bone bruise ein MRT-Befund ohne pathologischen Wert sei <sup>22,55</sup>. So konnten z. B. Lazzarini et al.<sup>76</sup> nachweisen, dass auch bei 30% der beschwerdefreien Normalbevölkerung Bone bruises im Bereich des Fußes bestehen. Andere Studien wiederum sehen im Bone bruise die mögliche Vorstufe einer traumatischen OCL und einen Risikofaktor für degenerative Veränderungen <sup>23,60,63</sup>. Bei einem Bone bruise handelt es sich um Mikrofrakturen des spongiösen Knochens, Chondrozytendegeneration und häufiger Affektion des subchondralen Knochens mit einer unklaren Auswirkung auf den darüber liegenden Knorpel <sup>57,60</sup>. Angelehnt an die These, dass der Bone bruise der „Fingerabdruck der Verletzung“ sei, sehen wir einen kleinen isolierten Bone bruise als klinisch nicht relevant an, da dieser wahrscheinlich auf eine eher geringe Krafteinwirkung schließen lässt. Im Falle ausgedehnter Bone bruises gehen wir, ähnlich wie Rangger <sup>57</sup>, jedoch von einer größeren Krafteinwirkung mit entsprechender Auswirkung auf die subchondrale Statik aus und somit des konsekutiven Risikos der Entwicklung einer OCL.

#### IV.2.2 Klinische Untersuchung

In der vorliegenden Studie wurden Patienten im Alter von 6 bis 18 Jahren eingeschlossen, die zum Unfallzeitpunkt 6 – 17 Jahre alt waren. Die Obergrenze von unter 18 Jahren ergab sich aus der Zuständigkeit einer kinderchirurgischen Nothilfe. Die Untergrenze von 6 Jahren wählten wir aus unserer Erfahrung heraus, wonach Kinder unter 6 Jahren schlecht in der Lage sind, ihre Beschwerden adäquat zu schildern und damit eine aussagekräftige körperliche Untersuchung kaum möglich ist. Für eine adäquate körperliche Untersuchung anhand der Ottawa Ankle Rules ist jedoch eine entsprechende Compliance des Patienten essentiell.

Insgesamt besteht in der Literatur keine Einigkeit bezüglich einer unteren Altersgrenze bei



der Anwendung der OAR <sup>2,14,72,77,78</sup>. Bei Clark et al.<sup>2</sup> wurden bereits Patienten ab 0 Jahren in Ihre Studie zur Anwendung der OAR bei Kindern eingeschlossen. Da die Fähigkeit zu gehen jedoch wesentlicher Bestandteil der OAR ist, sehen wir die Inkludierung von Säuglingen als nicht sinnvoll an. Konsequenterweise war dann auch bei Clark der jüngste Patient 2,8 Jahre alt und somit gehfähig.

Prinzipiell sehen wir wie Dowling<sup>72</sup> und Runyon<sup>78</sup> die Anwendung der OAR aus den genannten Gründen bei Kindern < 6 Jahren etwas kritisch, jedoch muss erwähnt werden, dass die Durchführung der Untersuchung gemäß den OAR in unserem Patientengut problemlos war und die OAR möglicherweise auch bei Patienten < 6 Jahre gut anwendbar sind.

Künftig wird das Thema der unteren Altersgrenze zur Anwendung der OAR weiterhin Gegenstand der Diskussion bleiben. Letztendlich obliegt es, wie bei allen körperlichen Untersuchungen, wohl der Compliance des Kindes sowie der Erfahrung des untersuchenden Arztes um ein aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten.

#### IV.2.3 Behandlungsprotokoll

In unserem Behandlungsprotokoll sehen wir bei Patienten, die die Kriterien der OAR erfüllen, jedoch einen negativen Standardröntgenbefund haben eine einwöchige Ruhigstellung des OSG im Cast vor. Nach unserer Erfahrung profitieren die Kinder und Jugendlichen von dieser Maßnahme deutlich im Sinne einer Schmerzreduktion. Zudem ist der Cast ein guter Schutz gegen erneutes Umknicken. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von Boyce <sup>1</sup> und Lamb <sup>3</sup>, welche ebenfalls nach einer Sprunggelenksdistorsion eine 10-tägige Ruhigstellung im Cast oder einer Aircast®-Schiene empfehlen. In beiden Studien zeigten die ruhiggestellten Sprunggelenke nach 10 Tagen ein signifikant besseres Ergebnis bezüglich schnellerer Erholung und Schmerzreduktion. In beiden Studien wurden jedoch nur Patienten mit Grad 2 und 3 Bandläsionen inkludiert. Die Graduierung erfolgte in beiden Studien jedoch nur anhand der klinischen Symptome, eine Bestätigung durch eine weiterführende Diagnostik erfolgte nicht. Unser Behandlungsprotokoll sieht im Gegensatz dazu keine Unterscheidung zwischen leichten und schweren Seitenbandläsionen vor. Dies hat zweierlei Gründe. Zum einen ist nach unserer Ansicht die Unterscheidung zwischen Banddehnung, Teilruptur und Vollruptur nichtinvasiv nur in der MRT adäquat möglich, gehaltene Röntgenaufnahmen sind obsolet. Zum anderen sieht die stadiengerechte Behandlung der OSG-Distorsion bei

Grad 1 Läsionen die sofortige Belastungs- und Bewegungsfreigabe nur deswegen vor, um späteren, durch die Ruhigstellung ausgelösten Bewegungseinschränkungen und chronischen Schmerzen vorzubeugen<sup>3</sup>. Doch bei Kindern und Jugendlichen ist aufgrund der guten Heilungstendenz und guten allgemeinen Beweglichkeit eine spätere Bewegungseinschränkung bei kurzzeitiger Ruhigstellung nicht zu erwarten. Ein weiterer Vorteil der initialen Cast-Ruhigstellung ist die Minimierung der Gefahr eines „Undertreatments“ im Falle einer unerkannten Pathologie.

Bei Patienten, welche nach einer einwöchigen Ruhigstellung wieder (nahezu) vollständig belasten können und eine deutliche Schmerzreduktion berichten, wird das Gelenk zur frühfunktionellen Nachbehandlung freigegeben.

Schwieriger gestaltet sich die Entscheidung bei Patienten mit einer partiellen Besserung nach einwöchiger Ruhigstellung. Hier ist es sowohl vom behandelnden Arzt als auch von der Besserungstendenz abhängig, ob die Dauer der Ruhigstellung verlängert oder eine weiterführende Diagnostik initiiert wird.

## **IV.3 Diskussion der Ergebnisse**

### **IV.3.1 Festgestellte Verletzungen**

In unserem Patientenkollektiv von 53 Kindern und Jugendlichen waren 32 weiblich (60%) und 21 männlich (40%). Damit zeigte sich eine leichte Dominanz des weiblichen Geschlechtes.

7 (13%) der 53 Kinder- und Jugendlichen waren übergewichtig, 3 (6%) davon stark übergewichtig. Wir konnten bei diesen Patienten keine vermehrte Verletzungsanfälligkeit feststellen. Dies steht im Gegensatz zu anderen Studien. Allerdings fokussiert die vorliegende Arbeit auch nicht auf diesen Parameter und unsere Ergebnisse sind aufgrund der Patientenzahl nur bedingt aussagekräftig. Sowohl bei Fong et al.<sup>4</sup> als auch Tyler et al.<sup>79</sup> wird ein hoher BMI als Risikofaktor für Sprunggelenksverletzungen gesehen. Jedoch fehlen in diesen Studien zum Teil Angaben über die diagnostischen Methoden, welche Diagnostik zur Identifizierung der Pathologien eingesetzt wurden. Zudem weist die Studie

von Tyler et al. zwar ein Kollektiv von 152 Patienten auf, eine Sprunggelenksdistorsion hatten jedoch nur 24. Damit scheint es durchaus Hinweise dafür zu geben, dass Übergewicht ein prädisponierender Faktor sein kann.

Von den 53 Patienten, bei denen wir aufgrund einer persistierenden Beschwerdesymptomatik nach initialer Ruhigstellung eine weiterführende Diagnostik mittels MRT durchführten, hatten 36 (68%) eine oder mehrere Seitenbandläsion(en). Damit war die Seitenbandläsion die am häufigsten zu findende Pathologie in der MRT in unserem Patientenkollektiv. Lag eine Seitenbandläsion vor, so war nahezu immer das Lig. fibulotalare anterius betroffen (94%). Deutlich seltener war das Lig. fibulocalcaneare betroffen (19%). Verletzungen des Lig. deltoideum waren eher selten (8%). Während eine isolierte Läsion des LFTA durchaus üblich war, waren Verletzungen der anderen Bänder meist als Kombinationsverletzungen zu sehen. Diese Ergebnisse decken sich weitgehend mit denen anderer Studien<sup>29,46,48,50</sup>. Da Seitenbandläsionen nach unserem Therapieregime jedoch zu keiner Therapieänderung führen, richteten wir unser Hauptaugenmerk jedoch auf weniger erwartbare, dafür therapierelevante Befunde.

Ein Bone bruise wurde in unserer Studie bei 33 Patienten (62%) gesehen. Damit lagen unsere Zahlen über den in der Literatur angegebenen 17-54%<sup>23,24,48,56</sup>. Dies mag daran liegen, dass wir in unserer Studie nur Patienten untersucht haben, die zur Kontrolluntersuchung noch Beschwerden hatten und unser Patientengut daher evtl. etwas in Richtung schwererer Befunde vorselektiert war. Allerdings ist insgesamt noch wenig über die Faktoren, welche zur Entstehung eines Bone bruise führen, bekannt. Da wir isolierte und moderate Bone bruises als nicht therapierelevant ansehen, blieben noch 8 Patienten mit einem ausgedehnten, unserer Ansicht nach damit therapeutisch relevanten, Bone bruise.

28 unserer Patienten (67%) mit Bone bruise hatten zugleich eine Distorsion am lateralen oder medialen Bandapparat. Dies korreliert mit den Ergebnissen von Herber et al.<sup>48</sup>, die bei 71% ihrer Patienten mit Bone bruise zugleich eine begleitende Bandläsion feststellen konnten. Lohman et al.<sup>56</sup> wiesen sogar bei allen Bone bruises der distalen Tibia und Fibula eine Assoziation mit Bandverletzungen nach.

Die mittlere Zeit, in der eine Bone bruise noch in der MRT nachweisbar ist, beträgt 42 Wochen. Somit ist ein Bone bruise nach einem Jahr in der Regel nicht mehr nachweisbar<sup>22,23</sup>. Jedoch werden auch Fälle berichtet, in denen die Veränderungen bis 2 Jahre nach

dem Unfall noch nachweisbar waren <sup>22</sup>. Auch wir hatten einen Patienten, bei dem sich noch über 2 Jahre nach dem Trauma ein kleiner, isolierter Bone bruise zeigte. Allerdings muss hier kritisch hinterfragt werden, ob die Veränderungen nicht doch auf einer chronischen Schädigung wie Fehlbelastung oder einem erneuten Trauma beruhen.

Bei keinem unserer Patienten konnte in der MRT eine Syndesmosenverletzung festgestellt werden. Damit widersprechen unsere Ergebnisse deutlich denen von Brown et al. <sup>47</sup>. Sie fanden bei 63% ihrer Patienten mit schwerer Sprunggelenksdistorsion eine Syndesmosenverletzung. Damit liegen sie deutlich über den in anderen Studien angegebenen Inzidenzen, welche zwischen 1 und 20% angeben <sup>29,48,80,81</sup>. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich jedoch, dass die Mehrheit der Syndesmosenverletzungen in Browns Studie chronisch waren und damit wohl nicht auf das untersuchte Trauma zurückzuführen sein dürften.

Bei 6 Kindern und Jugendlichen (11%) konnten wir insgesamt 8 osteochondrale Läsionen (OCL) feststellen. Bei zwei Kindern und Jugendlichen zeigte sich jeweils eine Läsion an der medialen und lateralen Talusschulter. Somit konnten wir insgesamt 4 OCL an der lateralen und 4 OCL an der medialen Talusschulter diagnostizieren. Im Gegensatz zu anderen Autoren <sup>64,65</sup> konnten wir damit keine Bevorzugung der medialen Talusschulter feststellen. Ein möglicher Grund dafür könnte die bevorzugt traumatische Ätiologie der lateralen OCL sein <sup>15,64</sup>. Ob die 8 in unserer Studie gefundenen OCL auf das von uns untersuchte Trauma zurückzuführen sind, kann jedoch letzten Endes nicht sicher beantwortet werden.

Allgemein herrscht bei den osteochondralen Läsionen keine einheitliche Nomenklatur, was zu einer gewissen Begriffsverwirrung führt. Oft werden die Begriffe „Osteochondrosis dissecans“, „flake fracture“ und „osteochondrale Fraktur“ unkritisch gleichgesetzt. Nach Steinhagen et al. <sup>64</sup> muss zwischen einer akut-traumatisch entstandenen chondralen oder osteochondralen Läsion und der Osteochondrosis dissecans tali (ODT) im engeren Sinne, welche auch endogene Ursachen haben kann, unterschieden werden.

Im Gegensatz zur ODT dürfte die von uns gefundene osteochondrale Läsion an der tibialen Gelenkfläche eine eher seltene Erscheinung sein, denn typischerweise treten OCL an konvex geformten Gelenkflächen (z.B. Femurkondylen, Trochlea humeri, Trochlea tali) auf <sup>64</sup>.

In der Literatur wird bezüglich OCL häufig eine Geschlechtsverteilung von 2 : 1 (m : w)

angegeben<sup>64,82</sup>. In unserer Studie stellte sich dieses Verhältnis genau andersherum dar, bei uns waren mehr Mädchen als Jungen betroffen. Insgesamt war das Geschlechterverhältnis in unserer Studie jedoch auch zu Gunsten der Mädchen verschoben.

Mit Hilfe der MRT konnten wir 2/3 der osteochondralen Läsionen bereits im Stadium 1 oder 2 diagnostizieren wodurch diese einer primär konservativen Therapie zugänglich waren. Zu unserer Verwunderung konnten wir auch zwei Osteochondrale Läsionen im Stadium 4 diagnostizieren. Da die stadienhafte Entwicklung der OCL bis zum Vollbild mit freiem Dissekat eine gewisse Zeit benötigt, gingen wir nicht davon aus, solche Läsionen zu finden. Bei genauerer Betrachtung erwies sich eine der beiden OCL 4. Grades eher als „flake fracture“, womit das von uns untersuchte Trauma auch möglicherweise die Ursache war. Bei der anderen OCL 4. Grades, welche sich wie eine klassische ODT präsentierte, muss jedoch aufgrund des eher geringen Abstandes zwischen Unfall und der MRT kritisch hinterfragt werden, ob das von uns untersuchte Trauma tatsächlich die Ursache war, doch gab dieser Patient kein vorangegangenes Distorsionstrauma an. Beide dieser Läsionen wurden im Untersuchungszeitraum aufgrund der eher kleinen Defektgröße konservativ behandelt.

Der Heilungsverlauf der OCL hängt neben dem Stadium auch von der Größe des Defektes und dem Alter des Patienten ab. So zeigen kleine Läsionen unabhängig vom Stadium signifikant bessere Remissionsraten als große. Bei den Erwachsenen werden als Grenzwerte für ein gutes Outcome Defektgrößen von 280 mm<sup>3</sup> bzw. 150 mm<sup>2</sup> genannt<sup>70</sup>. Allgemein ist die Remissionsrate osteochondraler Läsionen unter konservativer Therapie bei Kindern und Jugendlichen signifikant höher als bei Erwachsenen. Bei Bachmann et al.<sup>82</sup> zeigten 73% der Patienten unter 17 Jahren partielle oder komplette Remissionen, bei den Patienten, die 17 Jahre und älter waren nur 33%. Daher stellen wir bei unserem kinderchirurgischen Patientengut die Indikation zur operativen Therapie sehr streng und bevorzugen zunächst die konservative Therapie.

Obwohl osteochondrale Läsionen zu dauerhaften Beschwerden führen können, stellen die klinisch wohl relevantesten Pathologien die Frakturen dar. Daher kommt hier einer suffizienten Diagnostik eine besondere Bedeutung zu.

In unserer Studie konnten trotz unauffälligem Standardröntgen in der MRT 6 Frakturen festgestellt werden, bestehend aus 1 Weber A Fraktur und 5 Epiphysenfugenfrakturen. Darunter waren 3 SH 1 Frakturen der distalen Fibula.

Die SH 1 Fraktur wird gemeinhin den okkulten Frakturen zugeordnet. Dieser Begriff wurde aufgrund der schweren Darstellbarkeit dieses Frakturtyps im konventionellen Röntgen gewählt. Somit ist die reale Inzidenz okkulten Frakturen nur schwer abzuschätzen. Um dies zu verdeutlichen führten Sankar et al.<sup>81</sup> bei 38 Sprunggelenksdistorsionen 3 Wochen nach Trauma eine konventionelle Röntgenkontrolle durch. Dabei stellten sie bei 18 % der Fälle die Bildung neuen Knochens und/oder eine Frakturdislokation an der distalen Fibula im Sinne einer SH 1 Fraktur fest. In unserer Studie gaben alle drei Patienten mit in der MRT diagnostizierter SH 1 Fraktur zum Zeitpunkt der initialen Untersuchung einen Druckschmerz über dem Malleolus lateralis an.

Die zweite okkulte Fraktur, die SH 5 Fraktur, genießt im Gegensatz zur SH 1 Fraktur einen Exotenstatus. Sie wird selbst in Studien, in denen eine MRT-Diagnostik erfolgte, häufig nicht entdeckt und im konventionellen Röntgen ist sie methodenbedingt nicht zu diagnostizieren<sup>18,19,38,42,48,56,82,83</sup>. Daher finden sich in der Literatur nur sehr wenige Angaben zu ihrer Inzidenz. In unserer Studie wurde keine SH 5 Fraktur diagnostiziert.

Alle Epiphysenfugenfrakturen haben das Potential, Komplikationen nach sich zu ziehen<sup>18,19,38,42,48,56,83,84</sup>. Neben der avaskulären Nekrose ist dies vor allem die posttraumatische Wachstumsstörung. Diese kann sowohl zu Fehlstellungen infolge von Winkeldeformitäten als auch zu Beinlängendifferenzen führen. Etwa 30% aller Epiphysenfugenverletzungen führen zu einer gewissen Verkürzung oder Abwinkelung des betroffenen Knochens. Klinisch signifikante funktionelle Veränderungen finden sich jedoch nur bei ca. 2% der Verletzungen<sup>43</sup>. Die vorzeitige Verknöcherung der Wachstumsfuge beginnt in der Regel mit der Ausbildung einer knöchernen oder fibrösen Brücke zwischen den beiden Fugenteilen. Im Röntgen oder der CT können nur knöchernen Brücken erkannt werden und diese meist auch relativ spät<sup>85</sup>. Die MRT hingegen hat die Fähigkeit, neben den ossären auch fibröse Brücken darzustellen und kann darüber hinaus frühere Indikatoren einer Deformität wie abnormale Wachstumserholungslinien oder lokale Ischämien darstellen<sup>38,79</sup>. In unserem Patientengut zeigte jedoch kein Patient Anzeichen einer vorzeitigen Verknöcherung.

Häufig werden die Salter-Harris 1 und 2 Frakturen zu den Frakturen mit niedrigem Komplikationsrisiko gezählt<sup>18,20,38</sup>. In Ihrer 2003 veröffentlichten Studie berichteten Barmada et al.<sup>7</sup> jedoch von einem vorzeitigen Wachstumsfugenschluss in 36% der Fälle mit vorangegangener SH 1 oder SH 2 Fraktur. Zu einem sehr ähnlichem Ergebnis kommen auch Rohmiller et al.<sup>40</sup>. Auch sie berichten von einem vorzeitigen

Wachstumsfugenschluss nach SH 1 oder 2 Fraktur bei 39% der Fälle. Bei Leary et al.<sup>41</sup> hatten 67% aller Patienten mit einem vorzeitigen Wachstumsfugenverschluss eine SH 2 Fraktur, nur jeweils 13% eine SH 3 bzw. 4 Fraktur. Somit scheint es, dass die vorherrschende Meinung, dass SH 1 und 2 Frakturen weniger komplikationsträchtig sind überdacht werden muss.

Entscheidender ist wohl ein anderer Faktor, welcher auch in allen Studien genannt wird. Dabei handelt es sich um die verbleibende Dislokation nach Reposition. Bereits eine Restdislokation von über 2 mm nach Reposition gilt als Risikofaktor für einen vorzeitigen Wachstumsfugenverschluss<sup>7,18,41,42</sup>.

In unserer Studie zeigte sich bei keiner der 6 Frakturen eine repositionsbedürftige Dislokation. Dieser Umstand ist sicher auch darin begründet, dass dislozierte Frakturen im Röntgen eher diagnostiziert werden als nicht dislozierte, weshalb die dislozierten Epiphysenfugenfrakturen schon im Vorfeld herausgefiltert wurden. Somit war auch bei keiner der von uns diagnostizierten Frakturen eine operative Therapie notwendig.

#### IV.3.2 Ottawa Ankle Rules

In den letzten Jahren fokussierten sich klinische Studien auf die Reduktion unnötiger Röntgenaufnahmen. Die bekannteste dieser Studien wurde von Stiell et al. im Jahre 1992 durchgeführt<sup>12</sup>. Sie beschrieben bestimmte klinische Untersuchungsbefunde, anhand derer man die Wahrscheinlichkeit einer Sprunggelenksfraktur nach einem Trauma abschätzen konnte. Viele Studien bestätigten die Effizienz dieser OAR sowohl bei Erwachsenen als auch bei Kindern und Jugendlichen<sup>14,72,77,86,87</sup>.

Oberste Priorität bei der Erarbeitung der OAR war es, eine hohe Sensitivität zu erzielen. Dadurch sollte die Gefahr, eine Fraktur zu übersehen, minimiert werden. Auch in unserer Studie mit einem selektierten Patientengut erzielten die OAR eine Sensitivität von 100%. Doch es gibt auch Studien, in denen die OAR keine 100%ige Sensitivität erzielten: In einer von Dowling et al.<sup>72</sup> durchgeführten Metaanalyse von 12 Studien betrug die gepoolte Sensitivität der OAR 98,5%, wobei die stärkste Abweichung bei Clark et al.<sup>2</sup> gesehen wurde. Bei ihnen erzielten die OAR lediglich eine Sensitivität von 83%. Die genauere Analyse der Altersgruppen zeigte, dass die Sensitivität der OAR bei den über 15-jährigen ebenfalls bei 100% lag, bei den unter 15-jährigen jedoch nur bei 80%. In einer kinderchirurgischen Ambulanz ist der behandelnde Arzt jedoch häufig mit Kindern und Jugendlichen unter 15 Jahren konfrontiert. Aus diesem Grunde gruppierten auch wir unser

Patientengut wie Clark et al. in unter und über 15-jährige ein. Im Gegensatz zur Clark konnten wir jedoch keinen Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen feststellen, die OAR erzielten jeweils eine Sensitivität von 100 %.

Grundsätzlich sehen wir in der Anwendung der OAR bei Kindern eher das gegenteilige Problem. In unserer kinderchirurgischen Ambulanz, in der wir in der Regel täglich mehrere Patienten mit akuter Sprunggelenksdistorsion untersuchen, sehen wir nur sehr wenige Kinder, welche nach einer Sprunggelenksdistorsion die Kriterien der Ottawa Ankle Rules nicht erfüllen. Nach unserer Einschätzung neigen Kinder im Umfeld eines Krankenhauses zur Schmerzaggravierung und somit zur Verfälschung der klinischen Untersuchung. Auch wollen Kinder aus Angst vor Schmerzen die Extremität häufig nicht mehr belasten, obwohl es vielleicht doch möglich wäre. Dies führt zu einer hohen Anzahl falsch positiver Untersuchungsergebnisse und damit zu einer niedrigen Spezifität. Diese lag in unserer Studie bei lediglich 17%. Analog dazu zeigt der im Jahre 2003 von Bachmann et al.<sup>86</sup> durchgeführten Review in der Subgruppe der Kinder eine mittlere Spezifität der OAR von 26,7% welche damit deutlich niedriger ist als bei den Erwachsenen. Bei Dowling et al.<sup>72</sup> reichte die Spezifität von 7,9% bis 50%. Konsequenterweise erreichten die OAR in der Studie mit der höchsten Spezifität nur eine Sensitivitäten von 83%<sup>2</sup>. Wir interpretieren diese Ergebnisse folgendermaßen: Die OAR wurden von Stiell et al. als Screeninguntersuchung konzipiert. Screeninguntersuchungen sollen eine möglichst hohe Sensitivität haben, um möglichst keine falsch negativen Ergebnisse zu ergeben. Eine hohe Sensitivität geht jedoch in der Regel zu Lasten der Spezifität. Das Erlangen einer hohen Spezifität ist jedoch unserer Ansicht nach nicht die Aufgabe der OAR, denn dafür ist die anschließende Diagnostik vorgesehen. Versucht man also die OAR zugunsten einer besseren Spezifität zu verschieben, mündet dies zwangsläufig in einer Verschlechterung der Sensitivität.

#### IV.3.3 Bildgebende Diagnostik

Den Goldstandard der bildgebenden Diagnostik nach Sprunggelenksverletzungen stellt nach wie vor das Standardröntgen dar. Es ist gut verfügbar und erlaubt eine orientierende Beurteilung knöcherner Strukturen. Doch es gibt diverse Läsionen, die im Standardröntgen nur sehr schwer oder gar nicht diagnostiziert werden können. Diese Verletzungen werfen die Frage nach einer erweiterten Diagnostik auf.

Die Sonographie zum Beispiel ist eine kostengünstige und schnell durchführbare



Untersuchung, mit welcher Banddistorsionen und sogar okkulte Frakturen diagnostiziert werden können. So erzielten Simanovsky et al.<sup>88</sup> in ihrer Studie zur Erkennung okkultter Frakturen mit der hochauflösenden Sonographie eine Sensitivität von 100% bei einer Spezifität von 96%. Allerdings erfolgte die Bestätigung der Diagnose bei Ihnen anhand konventioneller Röntgenaufnahmen, welche am Tag des Unfalls und 2 - 3 Wochen danach angefertigt wurden. Zudem machten sie keine Angaben, um welche Frakturen es sich genau handelte. Da die Eindringtiefe des Ultraschalls am dichten Knochen sehr begrenzt ist, und somit nur die äußere Kortikalis beurteilt werden kann, glauben wir nicht, dass die Sonographie zur Diagnose komplexer Epiphysenfugenfrakturen wie z. B. der SH 4 Fraktur geeignet ist. Zudem erfordert die Sprunggelenkssonographie einen erfahrenen Untersucher.

Diese Studie untersuchte nicht die Rolle der CT, obwohl sie der MRT sowohl in der Diagnostik von Frakturen als auch osteochondraler Läsionen geringfügig überlegen ist<sup>15,25,69</sup>. Darüber hinaus ist sie zeitsparender und weniger kostenintensiv als eine MRT.

Allerdings ist mit der CT keine Beurteilung ligamentärer Strukturen möglich. Hierbei geht es nicht um die therapeutisch weniger relevanten Seitenbandläsionen als vielmehr um therapeutisch hoch relevante Pathologien wie etwa Syndesmosenläsionen. Auch der Nachweis des häufig nach einer Sprunggelenksdistorsion auftretenden Bone bruise gelingt mit der CT nicht.

Als Komplikation einer Wachstumsfugenfraktur können sich knöcherne oder fibröse Brücken innerhalb der Wachstumsfuge ausbilden, welche dann zu einer Wachstumsstörung führen. Die CT kann jedoch nur knöcherne Brücken darstellen, fibröse Brücken bleiben durch sie, wie bereits Jaramillo et al.<sup>85</sup> feststellten, unentdeckt und können exklusiv durch die MRT dargestellt werden.

Zudem geht die CT mit einer erhöhten Strahlenbelastung einher. Diese ist zwar an den Extremitäten deutlich geringer als z.B. am Abdomen, jedoch sollte gerade bei Heranwachsenden jede unnötige Strahlenbelastung vermieden werden. In einer 2012 erschienen Studie im Lancet<sup>89</sup> konnte gezeigt werden, dass das Risiko der Entwicklung einer Leukämie mit der Strahlendosis im CT assoziiert ist. Allerdings ist dafür die Exposition des roten Knochenmarkes entscheidend. Rotes Knochenmark findet sich beim Erwachsenen vor allem in platten Knochen wie z.B. dem Becken oder Sternum. Kinder haben in den Extremitätenknochen noch etwas rotes Knochenmark, welches jedoch mit zunehmenden Alter durch Fettmark ersetzt wird. Dieses reagiert bedeutend weniger

empfindlich auf ionisierende Strahlung. Daher reduziert sich bei der Extremitäten-CT auch das Risiko einer strahleninduzierten Leukämie mit zunehmenden Alter. Einschränkend ist zu sagen, dass es sich bei dieser Studie um eine retrospektive Studie handelt. Zudem wurde das Hauptaugenmerk der Studie auf Schädel-CTs sowie Abdomen- und Thorax-CTs gelegt, die Extremitäten-CT spielte nur eine untergeordnete Rolle. Da auch immer bessere Rekonstruktionsmechanismen in der strahlenärmeren low-dose-CT zur Verfügung stehen, sehen wir im Gegensatz zu Heyer et al. <sup>25</sup> keine allgemeine Einschränkung für die Anwendung der CT nach einer Sprunggelenksdistorsion.

Auch wenn die Strahlenbelastung durch die Extremitäten-CT vertretbar ist, steht mit der MRT ein Schnittbildverfahren zur Verfügung, welches ohne Strahlenbelastung sowohl Pathologien am Knochen, Knorpel und den Weichteilen darstellen kann <sup>7,15,16,22,29,44,47,48,50,52,56,59,62,68,69,82,85,90-93</sup>. Insbesondere in der Frakturdiagnostik - der eigentlichen Domäne der CT - zeigt die MRT, wie Moritz et al. <sup>26</sup> in einer Studie am Schweinemodell zeigen konnten, eine der CT vergleichbare diagnostische Genauigkeit. Außerdem ist die MRT das einzige Instrument welches den häufig nach Trauma vorzufindenden Bone bruise darstellen kann. Die von uns verwendeten MRT-Sequenzen bestanden meist aus coronaren und sagittalen STIR- und T1 gewichteten Spin-Echo Sequenzen sowie einer transversalen PD FatSat Sequenz. Die STIR-Bilder erwiesen sich besonders nützlich in der Diagnostik von Frakturen und Bone bruises. Dabei eignet sie sich besonders gut als „Suchsequenz“, um schnell vorhandene Pathologien zu entdecken. Für die genauere Beurteilung der anatomischen Strukturen war dagegen die T1 gewichtete Spin-Echo Sequenz sehr gut geeignet.

Aufgrund ihrer umfassenden diagnostischen Eigenschaften legten wir in unserer Studie die MRT als Referenzuntersuchung fest, wir schrieben ihr also sowohl eine Sensitivität als auch Spezifität von annähernd 100% zu. Sicherlich ist dieser Ansatz mit einem gewissen Fehlerpotential behaftet denn das sensitivste und wohl auch spezifischste Beurteilungsverfahren bei Sprunggelenksdistorsionen ist mit hoher Wahrscheinlichkeit die Sprunggelenksarthroskopie.

So erreichte die MRT bei Takao et al. <sup>11</sup> im Vergleich zur Sprunggelenksarthroskopie größtenteils gute Übereinstimmungen, doch bei der Diagnose osteochondraler Läsionen erzielte sie nur eine Sensitivität von 72,4%. Besondere Probleme bereiteten hierbei OCL 1. und 2. Grades. Ähnliche Ergebnisse zeigte auch eine Studie von Bachmann et al. <sup>68</sup>.

Wir sehen in der MRT dennoch ein gutes Instrument zur Beurteilung des Sprunggelenkes.

Da es sich um ein nicht invasives Verfahren handelt, kann auf dessen Basis immer noch eine invasive Diagnostik angeschlossen werden. Zudem kann mit der MRT das gesamte Sprunggelenk inklusive Fuß beurteilt werden, bei der Sprunggelenksarthroskopie ist lediglich die Beurteilung des Talocruralgelenkes möglich.

#### IV.3.4 Vergleich Röntgen - MRT

In unserer Studie führte der Einsatz der MRT bei 39 Patienten (74 %) zu einer Änderung oder Ergänzung der Hauptdiagnose „OSG-Distorsion“.

Ähnliche Ergebnisse finden sich auch in anderen Studien. So zeigte sich bei Herber et al.<sup>48</sup> ein falsch-negativer Röntgenbefund bei 39% der Patienten. Wie bei uns bereiteten im Standardröntgen vor allem die Epiphysenfugenfrakturen Probleme in der Diagnostik. Bei Iwinska-Zelder<sup>19</sup> führte die MRT in 70% der Fälle zu einer Änderung der im Standardröntgen gestellten Diagnose. Bei Jaramillo et al.<sup>85</sup> änderte sich durch den Einsatz der MRT die Diagnose in 6 von 12 Fällen (50%). In allen Studien bereitete die richtige Erkennung der Epiphysenfugenfrakturen im Standardröntgen Probleme. Auch in unserer Studie wurde bei 11% der Patienten eine Fraktur diagnostiziert, welche im Standardröntgen nicht erkannt worden war. Doch nicht jede in der MRT gefundene Pathologie ist zugleich therapeutisch relevant.

Wie oben erwähnt führte die MRT in der vorliegenden Studie bei 74 % der Patienten zu einer Änderung der Diagnose - was auch einfache Bone bruises beinhaltete, welche jedoch therapeutisch nicht relevant waren.

Dennoch zeigten sich bei 18 Patienten (34%) Befunde, welche zu einer Änderung der Therapie führten. Damit deckten sich unsere Ergebnisse gut mit denen von Iwinska-Zelder et al.<sup>19</sup>. Bei ihnen führte die durch die MRT gewonnene Mehrinformation in 70 % der Fälle zu einer Änderung der Diagnose und in 40 % der Fälle zu einem Therapiewechsel. Carey et al.<sup>91</sup> zeigten in ihrer Studie ebenfalls den hohen diagnostischen Wert der MRT bei unklaren Wachstumsfugenverletzungen. Bei ihnen führte der Einsatz der MRT in 7 von 14 Fällen (50%) zu einer Änderung der Diagnose und in 5 Fällen (36%) zu einer Änderung der Therapie. Doch sowohl bei Iwinska-Zelder als auch bei Carey waren die Fallzahlen mit 10 bzw. 14 Fällen sehr gering. Zudem wurden, anders als bei uns, in beiden Studien nur Patienten eingeschlossen, bei denen bereits im Standardröntgen der Verdacht auf eine Fraktur bestand. Herber et al.<sup>48</sup> hingegen untersuchten wie wir Patienten mit initial negativem Standardröntgen. Bei ihnen änderte sich das therapeutische Vorgehen durch

die MRT-Zusatzinformation in 35 Fällen (63%). Wie wir beschränkten sie sich nicht allein auf die Diagnostik von Epiphysenfugenfrakturen, sondern zogen auch andere Pathologien bei der Beurteilung des therapeutischen Regimes in Betracht. Allerdings lässt deren Studie nur schwer nachvollziehen, aufgrund welcher Kriterien die Entscheidung zu einem Therapiewechsel vorgenommen wurde bzw. welches Therapieregime initial vorgesehen war.

Ein völlig anderes Ergebnis als bei uns zeigte die Studie von Lohman et al.<sup>56</sup> bei 60 Kindern und Jugendlichen. Zwar führte auch bei ihnen der Einsatz der MRT in 21% der Fälle zur Änderung der Diagnose, doch hatte dies in keinem einzigen Fall einen Einfluss auf die Therapie. Dieses Ergebnis können wir aus mehreren Gründen nicht nachvollziehen.

Zum einen produzierte das konventionelle Röntgen bei Lohman 8% falsch negative Frakturdiagnosen. Dabei wurde sowohl an der distalen Tibia als auch an der distalen Fibula eine Avulsionsfraktur übersehen. Des Weiteren entgingen dem konventionellen Röntgen an der distalen Fibula noch zwei SH 2 Frakturen sowie eine SH 3 Fraktur. Die therapeutische Konsequenz einer neu entdeckten Avulsionsfraktur mag strittig sein, die einer SH 2 oder gar SH 3 Fraktur dürfte jedoch außer Frage stehen.

Zum anderen produzierte das konventionelle Röntgen bei Lohman 12 falsch positive Frakturdiagnosen, meist infolge einer falsch vermuteten SH 1 Fraktur der distalen Fibula. Da jedoch die Therapie einer Epiphysenfugenfraktur im Gegensatz zu einer Bandverletzung in einer mehrwöchigen Cast-Immobilisation besteht, können wir nicht nachvollziehen, weshalb sich in Lohmans Studie keine therapeutische Konsequenz aus den besagten Befunden ergab.

#### IV.3.5 Nachuntersuchung

Am klinischen Teil der Nachuntersuchung nahmen 26 Patienten (49%) teil. Von den nicht persönlich erschienenen Patienten bekamen wir von 11 (21%) die ausgefüllten Patientenfragebögen zurück bzw. konnten wir telefonisch interviewen. Somit hatten wir die Daten von insgesamt 37 Fragebögen (70%) zur Verfügung.

Die Nachuntersuchung erfolgte bei uns durchschnittlich 18 Monate nach dem Trauma. Jedoch war dieser Zeitraum sehr heterogen. So war das längste Intervall 53 Monate, das kürzeste lediglich knapp 2 Monate. Erwartungsgemäß hatten die Patienten in der Gruppe bis 6 Monate prozentual am häufigsten Beschwerden in der Nachuntersuchung. Dieser

relativ kurze Zeitraum könnte als zu kurz bemängelt werden um bereits von persistierenden Beschwerden zu sprechen, jedoch war bei allen von uns nachuntersuchten Patienten die Behandlung abgeschlossen und das Gelenk freigegeben. Zudem zeigte der Zeitraum zwischen Trauma und Nachuntersuchung in unserer Studie keinen statistisch signifikanten Einfluss auf noch vorhandene Beschwerden. Somit sehen wir, wie auch Takao et al.<sup>11</sup> einen Zeitraum von 2 Monaten als ausreichend an, um bereits von persistierenden Beschwerden zu sprechen. Zur besseren Vergleichbarkeit wären jedoch homogenere Nachuntersuchungsintervalle wünschenswert, was in einer retrospektiven Studie wie der vorliegenden jedoch nur schwer realisierbar ist.

Doch selbst in prospektiven Studien scheint die Einhaltung eines standardisierten Nachuntersuchungszeitraumes schwierig. Dies kann in der Studie von Dann et al.<sup>94</sup> beobachtet werden wenn sie bezüglich des Zeitraumes der Nachuntersuchung ungenaue Formulierungen wie „nach Behandlungsende“ und „nach durchschnittlich 12 Monaten“ verwenden. Konkrete Zahlen werden der Studie nicht genannt.

In unserer Nachuntersuchung klagten noch 16 Patienten (43%) über anhaltende Beschwerden wie z.B. Schmerzen, Instabilitätsgefühl oder Schwellung am betroffenen Sprunggelenk. Von diesen 16 Patienten hatten 5 eine vorangegangene Fraktur, 2 einen relevanten Bone bruise und 5 eine osteochondrale Läsion. 2 Patienten hatten eine Kombination von mindestens zwei solcher Läsionen. Dabei konnte kein signifikanter Zusammenhang zu noch bestehenden Beschwerden für Frakturen oder ausgeprägte Bone bruises gezeigt werden. Demgegenüber scheint für OCL ein signifikanter Zusammenhang mit persistierenden Beschwerden in der Nachuntersuchung zu bestehen. Überraschenderweise zeigte sich auch bei den 14 Patienten mit einer vorangegangenen Bandläsion ein signifikanter Zusammenhang zu fortbestehenden Beschwerden. Dies erstaunt umso mehr, da Bandläsionen in der Regel nach 2 Monaten als ausgeheilt gelten und so nicht mehr als Ursache der Beschwerden in Betracht kommen sollten.

Bestehen nach Ausschluss anderer Pathologien nach diesem Zeitraum (2 Monate) noch Beschwerden, so kann die Ursache in einer zu frühen sportlichen Belastung bei nicht konsequent durchgeführter funktioneller Therapie liegen, welche zu einer chronischen OSG-Instabilität führen kann<sup>94</sup>. Doch weder wir, noch Dann et al. konnten bei den Patienten mit persistierenden Beschwerden auffällige Instabilitäten feststellen.

Generell werden in der Literatur als Ursache anhaltender Beschwerden nach einer OSG-Distorsion osteochondrale Läsionen, Bone bruises, ein symptomatisches Os subfibulare,

eine anteriore impingement Exostose und das Einklemmen eines fibrösen Bandes genannt. In manchen Fällen bleibt die Ursache auch unklar <sup>11,24,55,95</sup>. Takao et al.<sup>11</sup> untersuchten beispielsweise 39 Patienten mit persistierenden Beschwerden nach OSG-Distorsion mittels Sprunggelenksarthroskopie. Als häufigste Ursache für persistierende Beschwerden fanden sie hierbei osteochondrale Läsionen, gefolgt von Syndesmosenläsionen und einem symptomatischen Os fibulare.

Anders als bei Dann und Takao erfolgte in unserer Nachuntersuchung keine erneute Bildgebung oder gar eine Sprunggelenksarthroskopie. Somit bietet unser Ansatz sicherlich einen gewissen Ansatz zur Kritik. Jedoch bleibt auch Takao die Antwort schuldig, ob die Beschwerden der Patienten nach dem arthroskopischen Eingriff behoben und die festgestellten Befunde daher wirklich die Ursache der Beschwerden waren.

Ein Aspekt, welcher unserer Ansicht nach in anderen Studien nicht oder zu wenig beachtet wird ist die Traumahistorie der Patienten <sup>11,48,95</sup>. In unserer Studie hatten 20 von 37 Patienten ein vorangegangenes oder erneutes Trauma. Diagnostisch dürfte dieser Umstand nur bei den lang nachweisbaren OCL problematisch sein, wenn es jedoch um die Frage geht welche Verletzungen zu chronischen Beschwerden führen, kann es durch diese Problematik zu Verfälschungen der Ergebnisse und falschen Rückschlüssen kommen. Da in unserer Studie 32% der nachuntersuchten Kinder und Jugendlichen seit dem von uns untersuchten Trauma erneut ein Distorsionstrauma erlitten hatten, sind auch deren Nachuntersuchungsergebnisse unter Vorbehalt zu diskutieren.

#### IV.3.6 Ausblick

Der Großteil der Patienten mit Sprunggelenksdistorsion benötigt in der täglichen Routine keinerlei spezielle Diagnostik. Bei Ihnen ist eine klinische Untersuchung anhand der OAR und ein eventuell folgendes Standardröntgen ausreichend. Jedoch gibt es auch einen nicht unerheblichen Anteil an Patienten, welche trotz unauffälligem Standardröntgenbefund weiterhin über Beschwerden klagen.

Durch den Einsatz der MRT wurden in unserer Studie bei 1/3 der Fälle therapierelevante Pathologien entdeckt, welche dem Standardröntgen entgangen waren und die zu einer Ausweitung der Therapie führten. Daher denken wir, dass Patienten mit unauffälligem initialen Standardröntgen und fortbestehenden Schmerzen nach einer Woche Ruhigstellung eine weiterführende Diagnostik mittels MRT erfahren sollten.

Durch unser Follow-up konnten wir zudem feststellen, dass knapp die Hälfte der Patienten trotz abgeschlossener Therapie über persistierende Beschwerden klagten. Wir konnten diesbezüglich eine signifikante Korrelation mit einer vorangegangenen OCL und Seitenbandläsion(en) zeigen. Einschränkend ist zu erwähnen, dass bei 54% der im Follow-up erfassten Patienten das von uns untersuchte Trauma nicht das einzige war.

Um genauer herauszufinden, welche Pathologien zu persistierenden Schmerzen nach einer Sprunggelenksdistorsion führen, wäre eine prospektive Studie mit einer größeren Fallzahl und standardisierten Nachuntersuchungsintervallen bei Patienten mit erstmaliger OSG-Distorsion indiziert.

## V. Zusammenfassung

**Fragestellung:** Bestimmung des sinnvollen Einsatzes der MRT nach traumatischer Sprunggelenksdistorsion bei Kindern und Jugendlichen.

**Methoden:** Bei 53 Kindern und Jugendlichen wurde aufgrund persistierender Beschwerden bei der Kontrolluntersuchung durchschnittlich 20 Tage nach dem Trauma eine MRT des Sprunggelenks durchgeführt. Anhand der MRT-Befunde wurde die im konventionellen Röntgen gestellte Diagnose verglichen und die Therapie bei Bedarf angepasst. Es wurde ein klinisches Follow-up nach durchschnittlich 18 Monaten angeschlossen in welchem die Patienten zu Beschwerden befragt und klinisch untersucht wurden.

**Ergebnisse:** Kollateralbandläsionen konnten wir bei 68% der Patienten feststellen. Ein Bone bruise zeigte sich bei 62%, davon bei 8 Patienten in ausgeprägter Form. Bei 6 Patienten konnten wir 8 osteochondrale Läsionen nachweisen (7 am Talus, 1 an der distalen tibialen Gelenkfläche). Bei 6 Patienten zeigte sich in der MRT eine Fraktur. Insgesamt änderte sich die Diagnose durch den Einsatz der MRT in 74% der Fälle, zu einer Änderung der Therapie kam es in 34% der Fälle.

Bei unserer standardisierten Nachuntersuchung konnten wir von 70% der Patienten Daten erheben. Hierbei gaben 43% der Patienten persistierende Beschwerden an. Diesbezüglich konnten wir für OCL und Bandläsionen eine signifikante Korrelation nachweisen. Vorangegangene Frakturen oder ausgedehnte Bone bruises zeigten keinen signifikanten Einfluss auf persistierende Beschwerden im Follow-up.

**Schlussfolgerung:** In unserer Studie wurden durch den Einsatz der MRT in 34% der Fälle therapierelevante Läsionen gefunden, welche dem Standardröntgen entgangen waren. Zudem konnten wir in unserer Nachuntersuchung zeigen, dass v. a. OCL und Seitenbandläsionen zu persistierenden Beschwerden führen können. In Zusammenschau aller in unserer Studie gezeigten Ergebnisse sehen wir den Einsatz der MRT bei all jenen Patienten als sinnvoll an, bei denen die Ottawa Ankle Rules initial positiv waren und die trotz einer Ruhigstellung von ca. 1 Woche über anhaltende Beschwerden klagen.



## VI. Literaturverzeichnis

1. Boyce, S.H., Quigley, M.A. & Campbell, S. Management of ankle sprains: a randomised controlled trial of the treatment of inversion injuries using an elastic support bandage or an Aircast ankle brace. *Br J Sports Med* **39**, 91-96 (2005).
2. Clark, K.D. & Tanner, S. Evaluation of the Ottawa ankle rules in children. *Pediatr Emerg Care* **19**, 73-78 (2003).
3. Lamb, S.E., Marsh, J.L., Hutton, J.L., Nakash, R. & Cooke, M.W. Mechanical supports for acute, severe ankle sprain: a pragmatic, multicentre, randomised controlled trial. *Lancet* **373**, 575-581 (2009).
4. Fong, D.T., Chan, Y.Y., Mok, K.M., Yung, P. & Chan, K.M. Understanding acute ankle ligamentous sprain injury in sports. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol* **1**, 14 (2009).
5. Morrison, K.E. & Kaminski, T.W. Foot characteristics in association with inversion ankle injury. *J Athl Train* **42**, 135-142 (2007).
6. Yde, J. & Nielsen, A.B. Sports injuries in adolescents' ball games: soccer, handball and basketball. *Br J Sports Med* **24**, 51-54 (1990).
7. Barmada, A., Gaynor, T. & Mubarak, S.J. Premature physeal closure following distal tibia physeal fractures: a new radiographic predictor. *J Pediatr Orthop* **23**, 733-739 (2003).
8. Fong, D.T., Man, C.Y., Yung, P.S., Cheung, S.Y. & Chan, K.M. Sport-related ankle injuries attending an accident and emergency department. *Injury* **39**, 1222-1227 (2008).

9. Knobloch, K., Jagodzinski, M., Haasper, C., Zeichen, J. & Krettek, C. Turnunfälle im Schulsport - Ansätze für präventive Maßnahmen. *Gymnastic School Sport Injuries - Aspects of Preventive Measures* **20**, 81-85 (2006).
10. Oae, K., Takao, M., Uchio, Y. & Ochi, M. Evaluation of anterior talofibular ligament injury with stress radiography, ultrasonography and MR imaging. *Skeletal Radiol* **39**, 41-47 (2010).
11. Takao, M., Uchio, Y., Naito, K., Fukazawa, I. & Ochi, M. Arthroscopic assessment for intra-articular disorders in residual ankle disability after sprain. *Am J Sports Med* **33**, 686-692 (2005).
12. Stiell, I.G., *et al.* A study to develop clinical decision rules for the use of radiography in acute ankle injuries. *Ann Emerg Med* **21**, 384-390 (1992).
13. Eggli, S., Sclabas, G.M., Zimmermann, H. & Exadaktylos, A.K. The Bernese ankle rules: a fast, reliable test after low-energy, supination-type malleolar and midfoot trauma. *J Trauma* **59**, 1268-1271 (2005).
14. Gravel, J., Hedrei, P., Grimard, G. & Gouin, S. Prospective validation and head-to-head comparison of 3 ankle rules in a pediatric population. *Ann Emerg Med* **54**, 534-540 e531 (2009).
15. Merian, M. & Easley, M. Diagnostik und Therapie osteochondraler Läsionen des Talus. *Der Orthopäde* **37**, 204-211 (2008).
16. Basener, C.J., Mehlman, C.T. & DiPasquale, T.G. Growth disturbance after distal femoral growth plate fractures in children: a meta-analysis. *J Orthop Trauma* **23**, 663-667 (2009).
17. Hawe, W., Lippert, M.J. & Bennett, P. Funktionelle Anatomie des oberen Sprunggelenks. *The functional anatomy of the ankle joint* **3**, 1-5 (1989).

18. Herman, M.J. & Dean MacEwen, G. Physeal fractures of the distal tibia and fibula. *Current Orthopaedics* **17**, 56-62 (2003).
19. Iwinska-Zelder, J., *et al.* Epiphysenfugenverletzungen der distalen Tibia. *Der Radiologe* **39**, 25-29 (1999).
20. Salter, R.B. Injuries of the epiphyseal plate. *Instr Course Lect* **41**, 351-359 (1992).
21. Wirth, S., Wieser, A., Witt, S.N., Mutschler, W. & Reiser, M. Nachweis einer radiographisch okkulten Osteochondrosis dissecans tali mit der MRT. *Der Unfallchirurg* **106**, 238-240 (2003).
22. Boks, S.S., *et al.* MRI follow-up of posttraumatic bone bruises of the knee in general practice. *AJR Am J Roentgenol* **189**, 556-562 (2007).
23. Kellner, S. Bone Bruise - MRT-Befund mit klinischer Relevanz? *Orthopädie und Rheuma* **4**, 38-41 (2003).
24. Pinar, H., Akseki, D., Kovanlikaya, I., Arac, S. & Bozkurt, M. Bone bruises detected by magnetic resonance imaging following lateral ankle sprains. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* **5**, 113-117 (1997).
25. Heyer. 44. Jahrestagung der Gesellschaft für Pädiatrische Radiologie e.V. *Der Radiologe* **48**, 1199-1212 (2008).
26. Moritz, J.D., *et al.* [Comparison of MRI and CT for assessment of childhood fractures: studies on a porcine model]. *Unfallchirurg* **116**, 916-922 (2013).
27. Vogl, T.J., Wetter, A. & Schneidmüller, D. Radiologische Diagnostik. 39-49 (2006).
28. Loren, G.J. & Ferkel, R.D. Arthroscopic assessment of occult intra-articular injury in

acute ankle fractures. *Arthroscopy* **18**, 412-421 (2002).

29. Nikken, J.J., *et al.* Acute ankle trauma: value of a short dedicated extremity MR imaging examination in prediction of need for treatment. *Radiology* **234**, 134-142 (2005).
30. Müller-Gerbl, M. Anatomie und Biomechanik des oberen Sprunggelenks. *Der Orthopäde* **30**, 3-11 (2001).
31. Pretterklieber, M.L. Anatomie und Kinematik der Sprunggelenke des Menschen. *Der Radiologe* **39**, 1-7 (1999).
32. Rammelt, S., Grass, R., Biewener, A. & Zwipp, H. Anatomie, Biomechanik und Klassifikation der Sprunggelenkfrakturen. *Trauma und Berufskrankheit* **6**, S384-S392 (2004).
33. Trattng, S., *et al.* Bestimmung der Knorpeldicke am oberen Sprunggelenk. Eine MRT (1,5 T)-anatomische Vergleichsstudie. *Determination of cartilage thickness in the ankle joint. MRT (1.5 T) comparative anatomical study* **166**, 303-306 (1997).
34. Bruns, J. & Rehder, U. [ligament kinematics of the ankle joint. An experimental study]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* **131**, 363-369 (1993).
35. Ashton-Miller, J.A., Ottaviani, R.A., Hutchinson, C. & Wojtys, E.M. What best protects the inverted weightbearing ankle against further inversion? Evertor muscle strength compares favorably with shoe height, athletic tape, and three orthoses. *Am J Sports Med* **24**, 800-809 (1996).
36. Ty Hopkins, J., McLoda, T. & McCaw, S. Muscle activation following sudden ankle inversion during standing and walking. *European Journal of Applied Physiology* **99**, 371-378 (2007).

37. Rueger, M., Hilgert, R. Bandverletzungen im Kindesalter. *Trauma und Berufskrankheit* **3**, S008-S012 (2001).
38. Rogers, L.F. & Poznanski, A.K. Imaging of epiphyseal injuries. *Radiology* **191**, 297-308 (1994).
39. Neugebauer, W., Schweizer, P., Grandel, S. & Walter, E. Epiphysenfugenläsionen Klassifikation - Therapie - Prognose1. *Lesions of the Epiphyses - Classification - Therapy - Prognosis* **33**, 153-166 (1981).
40. Rohmiller, M.T., Gaynor, T.P., Pawelek, J. & Mubarak, S.J. Salter-Harris I and II fractures of the distal tibia: does mechanism of injury relate to premature physeal closure? *J Pediatr Orthop* **26**, 322-328 (2006).
41. Leary, J.T., Handling, M., Talerico, M., Yong, L. & Bowe, J.A. Physeal fractures of the distal tibia: predictive factors of premature physeal closure and growth arrest. *J Pediatr Orthop* **29**, 356-361 (2009).
42. Mayr, J. & Grechenig, W. Verletzungen des distalen Unterschenkels und oberen Sprunggelenkes bei Kindern. *European Surgery* **33**, 60-64 (2001).
43. Mizuta, T., Benson, W.M., Foster, B.K., Paterson, D.C. & Morris, L.L. Statistical analysis of the incidence of physeal injuries. *J Pediatr Orthop* **7**, 518-523 (1987).
44. Bauer, J.S., *et al.* Magnetic resonance imaging of the ankle at 3.0 Tesla and 1.5 Tesla in human cadaver specimens with artificially created lesions of cartilage and ligaments. *Invest Radiol* **43**, 604-611 (2008).
45. Beynnon, B.D., Vacek, P.M., Murphy, D., Alosa, D. & Paller, D. First-time inversion ankle ligament trauma: the effects of sex, level of competition, and sport on the incidence of injury. *Am J Sports Med* **33**, 1485-1491 (2005).

46. Breitenseher, M.J., *et al.* Verletzungen des Außenbandapparates am oberen Sprunggelenk: Untersuchungstechnik und Nachweis mittels MRT. *Injured lateral ankle ligaments: Technique and assessment of MRI* **164**, 226-232 (1996).
47. Brown, K.W., Morrison, W.B., Schweitzer, M.E., Parellada, J.A. & Nothnagel, H. MRI findings associated with distal tibiofibular syndesmosis injury. *AJR Am J Roentgenol* **182**, 131-136 (2004).
48. Herber, S., *et al.* Niederfeld-MRT des Sprunggelenkes - Erste Erfahrungen bei Kindern und Jugendlichen an einem offenen 0,2 T MR-System. *Fortschr Röntgenstr* **172**, 267-273 (2000).
49. Pollard, H., Sim, P. & McHardy, A. Lateral ankle injury. Literature review and report of two cases. *Australas Chiropr Osteopathy* **10**, 21-30 (2002).
50. Stuart, J., Boyd, R., Derbyshire, S., Wilson, B. & Phillips, B. Magnetic resonance assessment of inversion ankle injuries in children. *Injury* **29**, 29-30 (1998).
51. Frost, S.C. & Amendola, A. Is stress radiography necessary in the diagnosis of acute or chronic ankle instability? *Clin J Sport Med* **9**, 40-45 (1999).
52. Morrison, W.B. Magnetic resonance imaging of sports injuries of the ankle. *Top Magn Reson Imaging* **14**, 179-197 (2003).
53. Mink, J.H. & Deutsch, A.L. Occult cartilage and bone injuries of the knee: detection, classification, and assessment with MR imaging. *Radiology* **170**, 823-829 (1989).
54. Johnson, D.L., Urban, W.P., Jr., Caborn, D.N., Vanarthos, W.J. & Carlson, C.S. Articular cartilage changes seen with magnetic resonance imaging-detected bone bruises associated with acute anterior cruciate ligament rupture. *Am J Sports Med* **26**, 409-414 (1998).

55. Alanen, V., Taimela, S., Kinnunen, J., Koskinen, S.K. & Karaharju, E. Incidence and clinical significance of bone bruises after supination injury of the ankle. A double-blind, prospective study. *J Bone Joint Surg Br* **80**, 513-515 (1998).
56. Lohman, M., *et al.* Acute paediatric ankle trauma: MRI versus plain radiography. *Skeletal Radiol* **30**, 504-511 (2001).
57. Rangger, C., Goost, H., Kabir, K. & Burger, C. Bone bruise. *Trauma und Berufskrankheit* **8**, S178-S181 (2006).
58. Biedert, R.M., Bachmann, M. & Gal, I. Bone bruise - radiologische und morphologische Aspekte. *Sport-Orthopädie - Sport-Traumatologie - Sports Orthopaedics and Traumatology* **23**, 36-41 (2007).
59. Zanetti, M., De Simoni, C., Wetz, H.H., Zollinger, H. & Hodler, J. Magnetic resonance imaging of injuries to the ankle joint: can it predict clinical outcome? *Skeletal Radiol* **26**, 82-88 (1997).
60. Walther, M. & Stäbler, A. Das Knochenödem am Fuß. *Fuß & Sprunggelenk* **4**, 174-183 (2006).
61. Tscholl, P.M. Der Einsatz von nicht-steroidalen Antirheumatika (NSAR) im Spitzensport. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* **65**, 34-37 (2014).
62. Oda, H., Igarashi, M., Sase, H., Sase, T. & Yamamoto, S. Bone bruise in magnetic resonance imaging strongly correlates with the production of joint effusion and with knee osteoarthritis. *J Orthop Sci* **13**, 7-15 (2008).
63. Krappel, F., Bauer, E. & Harland, U. Are bone bruises a possible cause of osteochondritis dissecans of the capitellum? a case report and review of the literature. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery* **125**, 545-549 (2005).

64. Steinhagen, J., Niggemeyer, O. & Bruns, J. Ätiologie und Pathogenese der Osteochondrosis dissecans tali. *Der Orthopäde* **30**, 20-27 (2001).
65. Perumal, V., Wall, E. & Babekir, N. Juvenile Osteochondritis Dissecans of the Talus. *Journal of Pediatric Orthopaedics* **27**, 821-825  
810.1097/BPO.1090b1013e3181558961 (2007).
66. Letts, M., Davidson, D. & Ahmer, A. Osteochondritis dissecans of the talus in children. *J Pediatr Orthop* **23**, 617-625 (2003).
67. Berndt, A.L. & Harty, M. Transchondral fractures (osteochondritis dissecans) of the talus. *J Bone Joint Surg Am* **41-A**, 988-1020 (1959).
68. Bachmann, G., Jürgensen, I. & Siaplaouras, J. Die Stadienbestimmung der Osteochondrosis dissecans am Knie- und Sprunggelenk mit der MRT. *Staging of osteochondritis dissecans of the knee and ankle with MRI: comparison with conventional radiography and arthroscopy* **163**, 38-44 (1995).
69. Bohndorf, K., Imhof, H. & Schibany, N. Bildgebende Diagnostik akuter und chronischer osteochondraler Läsionen am Talus. *Der Orthopäde* **30**, 12-19 (2001).
70. Choi, W.J., Park, K.K., Kim, B.S. & Lee, J.W. Osteochondral lesion of the talus: is there a critical defect size for poor outcome? *Am J Sports Med* **37**, 1974-1980 (2009).
71. Richter, J. & Muhr, G. Sprunggelenksfrakturen des Erwachsenen. *Der Chirurg* **71**, 489-502 (2000).
72. Dowling, S., *et al.* Accuracy of Ottawa Ankle Rules to exclude fractures of the ankle and midfoot in children: a meta-analysis. *Acad Emerg Med* **16**, 277-287 (2009).



73. Long, A.E. Radiographic decision-making by the emergency physician. *Emerg Med Clin North Am* **3**, 437-446 (1985).
74. Kurnik, K. & Bidlingmaier, C. Moderne Antikoagulation im Kindesalter. *Monatsschr Kinderheilkd* **152**, 581-593 (2004).
75. Leitlinien Unfallchirurgie – neu erarbeitete Leitlinie AWMF - Nr. 012 - 022 "Frische Außenbandruptur am Oberen Sprunggelenk".
76. Lazzarini, K.M., Troiano, R.N. & Smith, R.C. Can running cause the appearance of marrow edema on MR images of the foot and ankle? *Radiology* **202**, 540-542 (1997).
77. Plint, A.C., *et al.* Validation of the Ottawa Ankle Rules in children with ankle injuries. *Acad Emerg Med* **6**, 1005-1009 (1999).
78. Runyon, M.S. Can we safely apply the Ottawa Ankle Rules to children? *Acad Emerg Med* **16**, 352-354 (2009).
79. Tyler, T.F., McHugh, M.P., Mirabella, M.R., Mullaney, M.J. & Nicholas, S.J. Risk factors for noncontact ankle sprains in high school football players: the role of previous ankle sprains and body mass index. *Am J Sports Med* **34**, 471-475 (2006).
80. Gerber, J.P., Williams, G.N., Scoville, C.R., Arciero, R.A. & Taylor, D.C. Persistent disability associated with ankle sprains: a prospective examination of an athletic population. *Foot Ankle Int* **19**, 653-660 (1998).
81. Hopkinson, W.J., St Pierre, P., Ryan, J.B. & Wheeler, J.H. Syndesmosis sprains of the ankle. *Foot Ankle* **10**, 325-330 (1990).
82. Bachmann, G., Jürgensen, I., Rominger, M. & Rau, W.S. Die Bedeutung der

Magnetresonanztomographie für die Verlaufskontrolle der Osteochondrosis dissecans am Knie- und Sprunggelenk. *Value of magnetic resonance imaging in the mid-term follow-up of osteochondritis dissecans of the femoral condyle and talus*. **171**, 372-379 (1999).

83. Krüger-Franke, M. & Pförringer, W. Epiphysenverletzungen der unteren Extremität beim Sport. *Sports-related epiphyseal injuries of the lower extremity* **5**, 37-41 (1991).
84. Shi, D.P., Zhu, S.C., Li, Y. & Zheng, J. Epiphyseal and physeal injury: comparison of conventional radiography and magnetic resonance imaging. *Clin Imaging* **33**, 379-383 (2009).
85. Jaramillo, D., Hoffer, F.A., Shapiro, F. & Rand, F. MR imaging of fractures of the growth plate. *AJR Am J Roentgenol* **155**, 1261-1265 (1990).
86. Bachmann, L.M., Kolb, E., Koller, M.T., Steurer, J. & ter Riet, G. Accuracy of Ottawa ankle rules to exclude fractures of the ankle and mid-foot: systematic review. *BMJ* **326**, 417 (2003).
87. Can, U., *et al.* Safety and efficiency of the Ottawa Ankle Rule in a Swiss population with ankle sprains. *Swiss Med Wkly* **138**, 292-296 (2008).
88. Simanovsky, N., Lamdan, R. & Hiller, N. Sonographic detection of radiographically occult fractures in pediatric ankle and wrist injuries. *J Pediatr Orthop* **29**, 142-145 (2009).
89. Pearce, M.S., *et al.* Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study. *Lancet* **380**, 499-505 (2012).
90. Boks, S.S., Vroegindeweij, D., Koes, B.W., Hunink, M.G. & Bierma-Zeinstra, S.M.

Follow-up of occult bone lesions detected at MR imaging: systematic review.  
*Radiology* **238**, 853-862 (2006).

91. Carey, J., Spence, L., Blickman, H. & Eustace, S. MRI of pediatric growth plate injury: correlation with plain film radiographs and clinical outcome. *Skeletal Radiol* **27**, 250-255 (1998).
92. Graf, B.K., Cook, D.A., De Smet, A.A. & Keene, J.S. "Bone bruises" on magnetic resonance imaging evaluation of anterior cruciate ligament injuries. *Am J Sports Med* **21**, 220-223 (1993).
93. Lohman, M., *et al.* MRI in the assessment of growth arrest. *Pediatr Radiol* **32**, 41-45 (2002).
94. Singer, K., Jones, D. & Taillon, M. Ligament injuries of the ankle and foot. *The Lower Extremity and Spine in Sports Medicine* **1**, 423-440 (1995).
95. Dann, K., *et al.* [Concomitant injuries after upper ankle joint dislocations]. *Sportverletz Sportschaden* **10**, 67-69 (1996).

## VII. Anhang

### 1. Abkürzungsverzeichnis

ACT	Autologe Chondrozytentransplantation
a.-p.	anterior-posterior
BMI	Body Mass Index
cm	Zentimeter
CT	Computertomographie
FOV	Field of view
ICD	International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems
kg	Kilogramm
LFTA	Ligamentum fubulotalare anterius
LFC	Ligamentum fibulocalcaneare
LFTP	Ligamentum fibulotalare posterius
Lig.	Ligamentum
Ligg.	Ligamenta
LMU	Ludwig-Maximilians-Universität
M.	Musculus
Mm.	Musculi
ms	Millisekunde
MRT	Magnetresonanztomographie
NSAR	Nichtsteroidale Antirheumatika
OAR	Ottawa Ankle Rules
OATS	Autologe Knorpel-Knochen-Transplantation
OCL	Osteochondrale Läsionen
OD	Osteochondrosis Dissecans
o. g.	oben genannt
OSG	Oberes Sprunggelenk
PA	Pronations-Abduktions-Frakturen
PD FatSat	Proton Density Fat Saturation
PPC	Premature Physeal Closure

SE	Supinations-Außenrotations-Frakturen
SE	Spin-Echo
SH	Salter-Harris
STIR	Short Tau Inversion Recovery
T1w	T1 gewichtet
T2w	T2 gewichtet
Tab.	Tabelle
TE	Time of echo
TR	Time of repeat
USG	Unteres Sprunggelenk

## 2. Erfassungsbogen OSG - Distorsion

### 1. Patientendaten

#### **Patient**

**Geburtsdatum**

Geschlecht:

Körpergröße:

**Datum des Unfalls**

Alter zum Unfall-  
zeitpunkt:

Gewicht zum  
Unfallzeitpunkt:

**Lokalisation**

☐ rechts

☐ links

☐ beidseits

**Das wievielte  
Ereignis?**

☐ erstes

☐ zweites

☐ drittes

☐ viertes

☐ > viertes

**Seither weitere  
Umknickereignisse?**

☐ Nein

☐ Ja:

**Unfallhergang**

☐ habituell

☐ traumatisch

☐ disponentiell

**Unfallmechanismus** Bei welcher Tätigkeit?:

☐ Supinationstrauma

☐ Pronationstrauma

**Komorbidität**

☐ Nein

☐ Ja:

### 2. Therapie

**Erstversorgung** ☐ US – Gipsschiene

☐ VSV

☐ UA - Gehstützen

☐ andere

☐ Thromboseprophylaxe      Labor:

**Konservative  
Therapie**

☐ keine

☐ Weiter Gipsschiene für      Wochen

☐ Dorsale Longuette für      Wochen

☐ Aircast / Gipslonguette für      Wochen

☐ Hardcast für      Wochen

☐ Softcast (mit Verstärkung) für      Wochen

☐ Entlastung an UA – Gehstützen für      Wochen

☐ andere: VSV für      Wochen

Physiotherapie      ☐ Nein      ☐ Ja, für      Wochen

**Operation**

☐ Nein

☐ Ja

OP – Datum:

Alter bei OP:

Komplikationen

☐ Nein

☐ Ja:

**Sport**

☐ uneingeschränkt möglich

☐ nur mit Bandage möglich

☐ nicht möglich

Wann nach Trauma wieder möglich?

4 Wo

**3. Radiologische Befunde**

**Diagnostik**

☐ konventionelles Röntgen

☐ MRT

☐ CT

☐ Sono

**Befund Röntgen**      Fraktur      ☐ Ja, welche?      ☐ Nein

**Befund MRT**      Fraktur      ☐ Ja, welche?      ☐ Nein

Bandruptur      ☐ Grad I      ☐ Nein

☐ Grad II

☐ Grad III

Welche/s:

Bone bruise      ☐ Ja, Wo?      ☐ Nein

Erguss      ☐ Ja      ☐ Nein

OLT      ☐ Ja      ☐ Nein

Sonstiges

#### 4. Körperliche Untersuchung

**Noch Beschwerden?**      ☐ Nein

☐ Ja:

**Gangbild**      ☐ normal      ☐ Hinken

**Gehtest**      ☐ Zehenspitzen gang      ☐ Fersengang      ☐ hüpfen

**Schwellung**      ☐ Nein

☐ Ja und zwar:



**Druckschmerz**☐ Nein☐ Ja und zwar:☐ Malleolus lat.☐ Malleolus med.☐ Syndesmose bei  
Squeezing**Gelenkbeweglichkeit  
in NNM**

Plantarflexion:

Dorsalextension:

Supination:

Pronation:

**Stabilität**

Talusvorschub

☐ positiv☐ negativ

lat. Aufklappbarkeit

☐ positiv☐ negativ

med. Aufklappbarkeit

☐ positiv☐ negativ

## **VIII. Danksagung**

Meinem Betreuer PD Dr. med. Jochen Hubertus danke ich zunächst für die Überlassung des Themas, die gute Einarbeitung und die fachkundige Unterstützung. Mein größter Dank gilt ihm aber vor allem für seine große Geduld.

Den Mitarbeitern der kinderchirurgischen Ambulanz des Dr. von Haunerschen Kinderspitals und hier insbesondere Fr. Dr. med. Claudia Menzel möchte ich für die Überlassung der Untersuchungsräumlichkeiten und die große Hilfsbereitschaft danken.

Meinen Eltern Eva und Gottfried möchte ich für die Ermöglichung des Studiums und die jederzeitige Unterstützung danken.

Zu guter Letzt möchte ich meiner Frau Katarzyna für Ihre Unterstützung und ihr Verständnis danken, dass ich mir trotz der zwischenzeitlichen Geburt unserer Tochter Johanna die Zeit zur Fertigstellung dieser Arbeit nehmen konnte.

## Eidesstattliche Versicherung

Unterthiner, Manuel

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt,

dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema:

*Evaluation der MRT-Diagnostik nach Sprunggelenksdistorsionen bei Kindern und Jugendlichen:  
Sinnvolles Instrument zur Diagnostik relevanter Verletzungen im oberen Sprunggelenk?*

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

Krailling, 20.06.2018

Ort, Datum

Manuel Unterthiner

Unterschrift Doktorand